



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali E Ambiente

Corso di laurea triennale in Scienze e Tecnologie Animali

**Acquacoltura:**

**Nuove soluzioni per una maggiore sostenibilità del settore**

Relatore: PROF. MARCO BIROLO

Laureanda: SANDRA PELI

Matricola n.: 1138489

ANNO ACCADEMICO 2022/2023



## Indice

Riassunto .....	5
1. Storia dell'acquacoltura.....	7
1.1 Il comparto a livello mondiale.....	9
1.2 Il comparto a livello Europeo .....	15
1.3 Il Comparto a livello Nazionale.....	19
2. Criticità e nuove sfide per il settore dell'acquacoltura .....	22
2.1 Criticità.....	23
2.2 Sostenibilità .....	24
2.3 Benessere animale .....	27
2.3 Cattura .....	29
3. Sistemi di produzione .....	30
3.1 Sistemi aperti.....	31
3.2 Sistemi semi-chiusi.....	37
3.3 Sistemi chiusi a ricircolo (RAS).....	41
3.4 Acquacoltura biologica.....	47
4 Soluzioni sostenibili per il futuro .....	51
4.1 Sistemi di acquacoltura integrata multi-trofica.....	51
4.2 Acquaponica.....	52
4.3 Mangimi sostenibili per l'acquacoltura .....	62
5. Conclusioni.....	71
6. Bibliografia.....	73



## **Riassunto**

L'acquacoltura è diventata una fonte di approvvigionamento ittico sempre più rilevante nell'ultimo decennio, tanto che nel 2020 ha superato il livello di produzione derivante dalla pesca. A livello globale, i principali produttori sono la Cina e altri paesi asiatici, ma si sta osservando una crescita significativa anche nel settore europeo e africano. L'acquacoltura, oltre a contribuire a ridurre la pressione sulle specie marine selvatiche, ha un impatto positivo sul benessere sociale delle persone coinvolte nel settore e sulla riduzione delle disuguaglianze economiche e sociali nei paesi in via di sviluppo. Tuttavia, è importante notare che l'acquacoltura presenta diversi metodi di allevamento, che variano non solo in base alle specie coltivate ma anche alle condizioni ambientali in cui vengono praticati. I metodi più comuni includono quelli di tipo aperto, semi-aperto (come i sistemi Raseway) e chiuso (come i sistemi RAS). Questi progressi nel settore, volti a ridurre l'impatto ambientale, hanno portato all'emanazione di leggi e regolamenti per promuovere un'acquacoltura biologica, vantaggiosa sia per i consumatori che per l'ambiente.

Un passo importante verso l'armonizzazione degli standard è stato compiuto durante l'Assemblea dell'IFOAM, con l'approvazione dei Basic Standard per l'acquacoltura biologica. In Italia, il MiPAAF è l'ente responsabile della regolamentazione del settore biologico. Attualmente, nell'acquacoltura biologica rientrano solo gli allevamenti estensivi o semi-estensivi condotti in ambienti aperti o semi-aperti, mentre i sistemi RAS non sono inclusi, e non è possibile integrare nuove tecnologie fortemente innovative e sostenibili quali l'acquaponica, sia in acqua dolce che salata, nei metodi biologici. Tuttavia, l'acquaponica sta dimostrando di essere efficace nell'attuazione di metodi di acquacoltura integrata multi-trofica (IMTA), che prevedono la coltivazione simultanea di diverse specie vegetali e animali per ridurre l'impatto ambientale e la perdita di nutrienti. Il principio dell'acquaponica prevede l'integrazione della coltivazione di piante commerciali nell'allevamento ittico, consentendo alle piante di assorbire le sostanze azotate prodotte dai pesci, evitando così dispersioni nell'ambiente. Pur essendo una tecnologia sostenibile per l'ambiente e che prevede il mantenimento di un equilibrio tra le componenti animali e vegetali, l'acquaponica presenta ancora elevati costi di investimento e produzione. Un obiettivo importante è dunque aumentare l'informazione dei consumatori riguardo i costi dei prodotti ittici derivati da sistemi virtuosi e, attraverso ulteriori ricerche, sviluppare soluzioni sempre più sostenibili non solo da un punto di vista ambientale, ma anche economico.



## 1. Storia dell'acquacoltura

Gli albori dell'acquacoltura sono avvolti nel mistero, anche se la maggior parte degli storici concorda sul fatto che le prime tecniche di allevamento delle specie ittiche siano iniziate in Cina.

Vari autori hanno indicato che gli inizi dell'acquacoltura possono essere fatti risalire indietro fino a 3.500-4.000a.C. (Hickling 1962, Bardach et al. 1972, Rabanal 1988), Jess'e , Casey e Ling 1977 hanno affermato che l'acquacoltura può risalire fino al 5.000a.C. ed hanno indicato che l'allevamento del cefalo (*Mugil cephalus*) e della carpa comune (*Cyprinus carpio*) in stagno, iniziarono con il primo Imperatore della Cina nel periodo dal 2852 al 2737 a.C. Ling ha indicato che l'allevamento della carpa si è sviluppato partendo dalla semplice cattura e conservazione del pesce in cesti, al loro confinamento in trappole e , infine, alla loro alimentazione per farli crescere fino a dimensioni adeguate alla raccolta.

Mentre il periodo preciso in cui l'acquacoltura si è sviluppata in Cina può essere in dubbio, c'è un accordo generale sul fatto che il primo lavoro pubblicato sull'argomento fu un piccolo volume di Fan Lee che apparve intorno al 475 a.C (Borgese 1980).

Le trote furono tra i primi gruppi di pesci ad essere coltivati in Europa. Davis (1956) ha attribuito la prima inseminazione artificiale di successo delle uova di trota ad un monaco Francese del XIV secolo. Nel corso dei secoli, l'allevamento della trota si diffuse in gran parte dell'Europa e, infine, in tutto il mondo. La trota fario europea (*Salmo trutta*) fu l'oggetto delle prime attività, anche se la trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*) introdotta dal Nord America divenne più popolare tra i piscicoltori. Gli inglesi introdussero la trota in alcune delle loro colonie in Asia e Africa principalmente per la pesca ricreativa (Pillay e Kutty, 2005).

Nella seconda metà del XIX secolo a causa della drastica riduzione degli stock naturali di pesci d'acqua dolce e marina ,dovuti alla pesca eccessiva, ha portato allo sviluppo di incubatoi privati e pubblici in Europa e Nord America. Negli Stati Uniti l'iniziativa partì da diversi stati del nord-est che istituirono delle commissioni che erano incaricate di gestire la pesca. Nella maggior parte dei casi si rivolsero inizialmente a produttori di pesce privati per fornire il pescato, più comunemente la trota di ruscello (*Salvelinus fontinalis*).

Purtroppo gli allevatori di pesce della fine del diciannovesimo e gran parte del ventesimo secolo non sono stati in grado di nutrire correttamente i piccolissimi avannotti , molto comuni tra le specie marine, e per questo gli animali venivano rilasciati prima che i loro sistemi digestivi fossero sviluppati. Lo stesso era vero per pesci d'acqua dolce con piccole uova , il salmone e la trota erano eccezioni in quanto avevano uova grandi e avannotti che sopravvivevano con il sacco vitellino per un lungo periodo dopo la schiusa, per questo al momento dell'alimentazione esogena gli avannotti erano ad uno stadio più avanzato ed era possibile fornire loro con successo cibo di diverso tipo- il

tuorlo d'uovo di pollo era un alimento comune. I dettagli di questo affascinante periodo di sviluppo della piscicoltura negli Stati Uniti possono essere trovati in un libro di Stickney (1996).

Gran parte dell'acquacoltura a quel tempo era artigianale nei paesi in via di sviluppo (Fig.1).



*Fig. 1. Vasche d' allevamento Tilapia nelle Filippine (Foto di Robert R. Stickney).*

I pesci continuano ad essere prodotti per scopi ricreativi, tuttavia la produzione di massa è oggi orientata all'acquacoltura intensiva.

Ci sono un gran numero di molluschi, crostacei e altri invertebrati che includono specie attualmente prodotte in acquacoltura. Ostriche, vongole, cozze e abaloni sono esempi di molluschi coltivati, mentre varie specie di gamberi marini e una specie di gamberi d'acqua dolce, *Macrobrachium rosenbergii*, sono i gruppi più importanti di crostacei che vengono coltivati per il mercato alimentare umano. Anche i granchi sono coltivati in misura limitata, mentre è più ridotta per le aragoste. C'è anche una certa produzione di ricci di mare e cetrioli di mare, così come alcuni altri invertebrati.

L'allevamento oceanico è un'altra forma di acquacoltura. Coinvolge più comunemente salmoni che vengono rilasciati dagli incubatoi come giovani esemplari per poi essere allevati in gabbie offshore lungo la costa. In Giappone, una forma modificata di allevamento oceanico è stata sviluppata con pesci marini non salmonidei. I giovani pesci sono addestrati in incubatoio a rispondere a una fonte sonora al momento dell'alimentazione. Una volta che il comportamento è radicato nel pesce, vengono rilasciati in natura vicino a una stazione di alimentazione che emette lo stesso suono che era stato usato per il condizionamento. L'alimentazione continua utilizzando l'attrattore sonoro fino a quando i pesci non raggiungono le dimensioni del mercato, dopodiché vengono catturati per la lavorazione.

Rispetto all'agricoltura terrestre, l'acquacoltura è estremamente diversificata con oltre 450 specie di piante e animali allevati (Duarte et al., 2009). Le produzioni di tendenza indicano che la diversità



delle specie prodotte in acquacoltura è ancora in aumento. Duarte et al. hanno stimato che il numero di specie coltivate aumenta del 3% all'anno.

## 1.1 Il comparto a livello mondiale

Le specie acquatiche sono una componente vitale dell'alimentazione umana e la più importante fonte di proteine animali di alta qualità. Nel presente documento il termine generale "specie acquatiche" include pesci, molluschi e crostacei consumati dall'uomo.

La produzione globale di animali acquatici è stata stimata a 178 milioni di tonnellate nel 2020, con una lieve diminuzione rispetto al record storico di 179 milioni di tonnellate nel 2018.

La pesca da cattura ha contribuito per 90 milioni di tonnellate (51%) e l'acquacoltura per 88 milioni di tonnellate (49%) della produzione totale, il 63% (112 milioni di tonnellate) è stato raccolto in acque marine (70% dalla pesca di cattura e 30% dall'acquacoltura) e il 37% (66 milioni di tonnellate) nelle acque interne (83% dall'acquacoltura e 17% dalla pesca di cattura).

Il valore totale di prima vendita della produzione globale è stato stimato in 406 miliardi di dollari, di cui 141 miliardi di dollari per la pesca di cattura e 265 miliardi di dollari per l'acquacoltura. Inoltre, nel 2020 sono stati prodotti 36 milioni di tonnellate (peso fresco) di alghe, di cui il 97% proveniente dall'acquacoltura marina (Fig.2). La crescita limitata è causata principalmente da un calo del 4,4% nella pesca a causa della riduzione delle catture di specie pelagiche, in particolare l'acciuga, e una riduzione della produzione in Cina a causa dell'impatto della pandemia COVID-19 nel 2020.

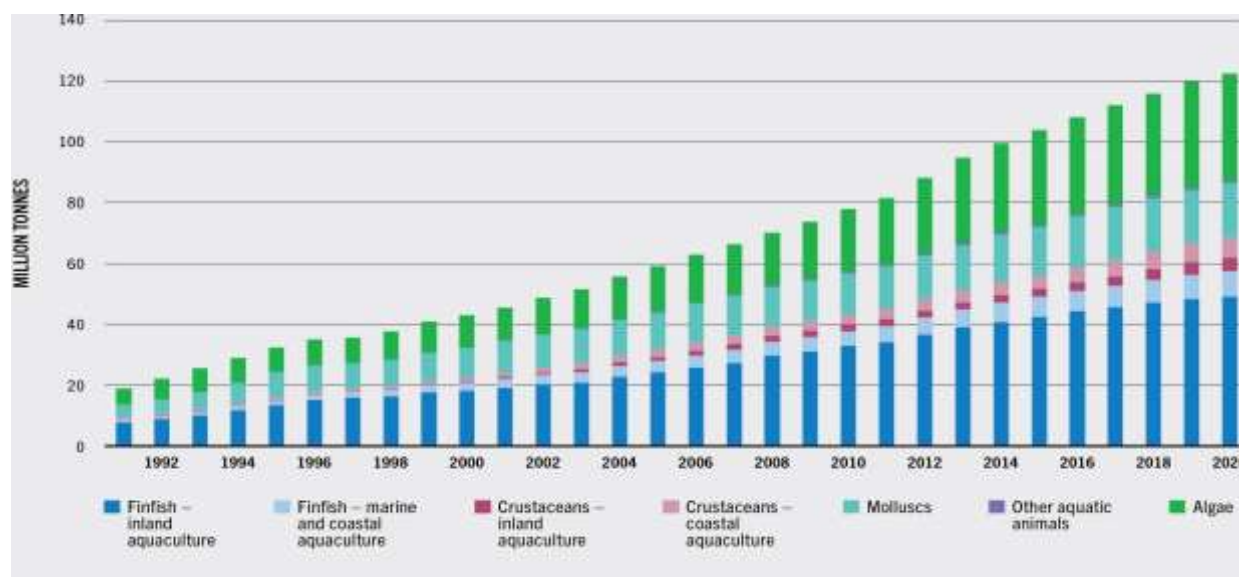


Fig. 2. Produzione mondiale di acquacoltura di animali acquatici e alghe, 1990-2020; FAO 2022

Per la produzione di animali acquatici, questa tendenza generale nasconde variazioni significative tra continenti, regioni e Paesi. Nel 2020, i Paesi asiatici sono stati i principali produttori, con il 70%

del totale, seguiti dai Paesi dell'Europa centrale e orientale, dalle Americhe, Europa, Africa e Oceania. La Cina rimane il primo grande produttore con una quota del 35% del totale.

L'espansione dell'acquacoltura negli ultimi decenni ha favorito la crescita complessiva della produzione di animali acquatici nelle acque interne, passando dal 12% della produzione totale alla fine degli anni '80 al 37% nel 2020.

La produzione mondiale di pesca con acquacoltura è a livelli record e il settore giocherà un ruolo sempre più importante nel fornire cibo e nutrizione in futuro; la quantità destinata al consumo umano (escluse le alghe) è stata di 20,2 kg pro capite, più del doppio rispetto alla media di 9,9 kg pro capite degli anni Sessanta.

Si stima che 58,5 milioni di persone siano state impiegate nel settore primario. Includendo i lavoratori del settore di sussistenza e i lavoratori del settore secondario e le loro dipendenze, si stima che circa 600 milioni di persone dipendono almeno in parte dalla pesca e dall'acquacoltura.

Il commercio internazionale dei prodotti della pesca e dell'acquacoltura ha generato circa 151 miliardi di dollari nel 2020, in calo rispetto al massimo storico di 165 miliardi di dollari nel 2018 soprattutto a causa dell'epidemia di COVID-19.

Della produzione complessiva di animali acquatici, oltre 157 milioni di tonnellate (89%) sono state utilizzati per il consumo umano. I restanti 20 milioni di tonnellate sono state destinati a usi non alimentare, per produrre principalmente farina di pesce e olio di pesce .

Tutte le regioni, ad eccezione dell'Africa, hanno registrato una continua crescita dell'acquacoltura nel 2020, trainata dall'espansione di Cile, Cina e Norvegia, i principali produttori.

L'Africa ha registrato un calo nei due principali Paesi produttori, Egitto e Nigeria, mentre il resto del continente ha registrato una crescita del 14,5% rispetto al 2019. L'Asia ha continuato a dominare l'acquacoltura mondiale, oltre il 90% del totale. Il contributo dell'acquacoltura alla produzione globale di animali acquatici ha raggiunto il record 49,2% nel 2020 (Fig.3).

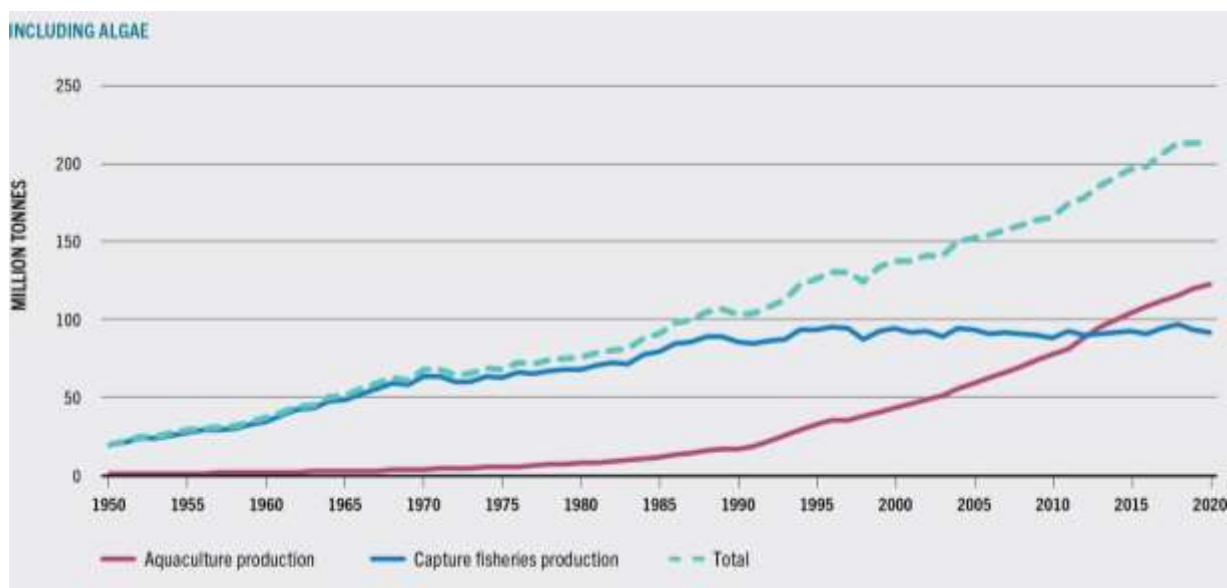
L'acquacoltura di animali acquatici alimentati continua a superare quella degli animali acquatici non alimentati o filtratori. Nonostante la grande diversità delle specie acquatiche d'allevamento, solo un piccolo numero di specie "di base" dominano la produzione di acquacoltura, in particolare la carpa erbivora per l'acquacoltura interna e il salmone atlantico per l'acquacoltura marina.

Il monitoraggio a lungo termine dell'Organizzazione FAO, degli stock ittici marini , conferma che le risorse ittiche marine hanno continuato a diminuire. La frazione degli stock ittici entro i livelli biologicamente sostenibili è diminuita dal 90% nel 1974 al 64,6% nel 2019, con gli stock pescati in condizioni di massima sostenibilità al 57,3% e gli stock sotto-pescati al 7,2%.

Tuttavia, nonostante il peggioramento delle tendenze, nel 2019 gli stock biologicamente sostenibili hanno rappresentato l'82,5 per cento degli sbarchi di prodotti acquatici, con un aumento del 3,8% rispetto al 2017.

Ad esempio, in media, il 66,7% degli stock delle dieci specie più pescate nel 2019 : acciuga, pollock dell'Alaska, tonnetto striato, aringa dell'Atlantico, pinna gialla, tonno blu, pesce azzurro, ecc. sono stati pescati entro i livelli biologicamente sostenibili nel 2019, leggermente superiori a quelli del 2017. Questo dimostra che gli stock più grandi sono gestiti in modo più efficace.

La ricostituzione degli stock sovra-sfruttati potrebbe aumentare la produzione della pesca di cattura marina di 16,5 milioni di tonnellate, contribuendo in tal modo alla sicurezza alimentare, alla nutrizione, all'economia e al benessere delle comunità costiere. Gli stock valutati scientificamente e gestiti in modo intensivo hanno, in media, visto un aumento dell'abbondanza ai livelli proposti; al contrario, le regioni con una gestione della pesca meno sviluppata hanno tassi di prelievo molto più elevati e un'abbondanza più bassa. Ciò evidenzia l' urgente necessità di replicare e riadattare politiche e regolamenti di successo nelle zone di pesca che non sono gestite in modo sostenibile e di implementare meccanismi innovativi basati sull'ecosistema che promuovano l'uso e la conservazione sostenibili in tutto il mondo.



*Fig.3. Lo stato della pesca e dell'acquacoltura mondiale (SOFIA); FAO 2022*

Nel 2020, 39 paesi, situati in tutte le regioni tranne l'Oceania, hanno prodotto più animali acquatici dall'allevamento che dalla pesca. Questi paesi, che ospitano circa la metà della popolazione mondiale, hanno raccolto 63,6 milioni di tonnellate di pesce d'allevamento, mentre la loro produzione combinata di cattura è stata di 26 milioni di tonnellate. L'acquacoltura ha rappresentato circa il 40% in altri 22 paesi nel 2020, compresi diversi grandi produttori: quali Indonesia, Norvegia, Cile, Myanmar e Thailandia (Fig. 4).



*Fig.4. produzione mondiale 2020, dei cinque maggiori produttori in acquacoltura*

L'utilizzo e la trasformazione della produzione della pesca e dell'acquacoltura sono cambiati considerevolmente negli ultimi decenni. Nel 2020, l'89% (157 milioni di tonnellate) della produzione mondiale (escluse le alghe) è stato consumo umano diretto, rispetto al 67% degli anni'60.

Il resto (oltre 20 milioni di tonnellate) è stata utilizzata per scopi non alimentari - la maggior parte per farina di pesce e l'olio di pesce, mentre il resto è destinato a pesci ornamentali, esche, applicazioni farmaceutiche, cibo per animali domestici e consumo diretto in acquacoltura e nell'allevamento di animali da pelliccia. Una quota crescente di sottoprodotti viene utilizzata per scopi alimentari e non alimentari. Ad esempio, oltre il 27% della produzione globale di farina di pesce e del 48% della produzione totale di olio di pesce sono stati ottenuti da sottoprodotti.

Il consumo globale di alimenti acquatici (escluse le alghe) è aumentato ad un tasso medio annuo del 3,0% dal 1961 al 2019, un tasso quasi doppio rispetto alla crescita annuale della popolazione mondiale (1,6%) nello stesso periodo, con un consumo pro capite annuale che ha raggiunto il record di 20,5 kg nel 2019. Le stime preliminari indicano un consumo più basso nel 2020 a causa di una riduzione della domanda dovuto alla pandemia, seguito da un leggero aumento nel 2021.

Nonostante alcune eccezioni, tra cui spicca il Giappone, la maggior parte dei Paesi ha registrato un aumento del consumo pro capite di alimenti acquatici tra il 1961 e il 2019, paesi a reddito medio-alto hanno registrato la crescita annuale più forte.

Nel 2019, a livello globale, gli alimenti acquatici hanno fornito circa il 17% delle proteine animali e il 7% di tutte le proteine.

Per 3,3 miliardi di persone, gli alimenti acquatici forniscono almeno il 20% dell'apporto medio pro capite di proteine animali. In Cambogia, Sierra Leone, Bangladesh, Indonesia, Ghana, Mozambico e

alcuni piccoli Stati insulari in via di sviluppo, gli alimenti acquatici contribuiscono alla metà o anche più dell'apporto totale di proteine animali. Ci sono molte nazioni in via di sviluppo con grandi aspirazioni nel campo dell'acquacoltura come mezzo per nutrire le popolazioni in rapida crescita.

L'acquacoltura interna di pesci è dominata dai paesi in via di sviluppo come la Cina, l'India e l'Indonesia, Tuttavia, c'è un rapido aumento della produzione che si sta verificando in alcuni paesi al di fuori dell'Asia; la quota della Cina nella produzione mondiale è scesa dal 59,9% nel 1995 al 57,9 % nel 2018 e si prevede che diminuirà ulteriormente nei prossimi anni. Inoltre un piccolo numero di paesi membri dell'OCSE come Norvegia, Cile, Giappone, Regno Unito e Irlanda del Nord, Canada e Grecia sono i maggiori produttori di specie marine, specialmente salmonidi d'acqua fredda. Mentre alcuni paesi producono significative quantità di bivalvi. Questi includono il Giappone, la Repubblica di Corea, Spagna, Francia e Italia.

Una mancanza di segnalazione da parte del 35-40% dei paesi produttori, insieme a insufficiente qualità e completezza dei dati riportati, ostacola gli sforzi della FAO di presentare un quadro accurato e più dettagliato dello stato di sviluppo dell'acquacoltura mondiale e delle tendenze.

Nel 2020 il valore dei prodotti acquatici scambiati ha rappresentato l'11% del totale del commercio agricolo (esclusa la silvicoltura) e circa l'1% del commercio totale di merci.

Queste quote sono molto più alte in alcuni paesi, superando il 40% del valore totale del commercio di merci in Capo Verde, Islanda, Kiribati e Maldive.

In Asia e in America Latina si teme un possibile indebolimento della domanda da parte della Cina e dell'Europa, che probabilmente eserciterà una pressione al ribasso sui prezzi, dato il previsto aumento delle forniture asiatiche. In Sud America, i pescatori di gamberetti argentini hanno previsto una riduzione di catture nel 2022, e le attività di trasformazione potrebbero essere interrotte per qualche tempo. In Ecuador, saranno disponibili ulteriori forniture in quanto le esportazioni verso la Federazione Russa sono state sospese (FAO 2022).

L'attuale Decennio d'azione per la realizzazione degli Obiettivi Globali G7 deve accelerare le azioni per affrontare la sicurezza alimentare, preservando al contempo le nostre risorse naturali. Gli alimenti ottenuti da specie acquatiche, che si prevede aumenteranno di un ulteriore 15% entro il 2030, possono fornire una quota importante del fabbisogno alimentare dell'umanità. La **Trasformazione Blu** è una visione per convertire in modo sostenibile i sistemi alimentari acquatici, una soluzione riconosciuta per la sicurezza alimentare e nutrizionale e per il benessere ambientale e sociale, preservando la salute degli ecosistemi acquatici, riducendo l'inquinamento, proteggendo la biodiversità e promuovendo l'uguaglianza sociale (Tabella 1).

Tabella 1. obiettivi e metodi di attuazione della Trasformazione Blu (Blue Transformation roadmap 2022–2030)



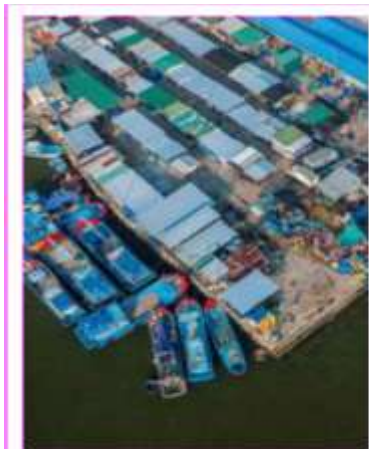
*Obiettivo:*  
*L'intensificazione e l'espansione dell'acquacoltura sostenibile soddisfa la domanda globale di cibo acquatico e distribuisce i benefici in modo equo.*

- Risultati:*
- *Crescita di almeno il 30% della produzione mondiale di acquacoltura sostenibile entro il 2030 (CAC 2030)*
  - *Crescita dell'occupazione nell'acquacoltura e della mezzadria specializzata per migliorare il reddito e i mezzi di sussistenza.*
  - *Raggiungere un'occupazione produttiva e un lavoro dignitoso nel settore dell'acquacoltura per tutte le donne e gli uomini entro il 2030.*



*Obiettivo:*  
*Una gestione efficace di tutte le attività di pesca che garantisca stock sani e mezzi di sussistenza equi.*

- Risultati:*
- *100% delle attività di pesca gestite in modo efficace.*
  - *Eliminazione di tutte le attività illegali, non dichiarate e non regolamentate.*
  - *Raggiungere un'occupazione produttiva e un lavoro dignitoso nelle regioni per tutte le donne e gli uomini entro il 2030.*



*Obiettivo:*  
*Catene del valore migliorate che garantiscano la sostenibilità sociale, economica e ambientale dei sistemi alimentari acquatici.*

- Risultati:*
- *Aumento significativo del consumo globale di pesce pro capite, soprattutto nella parte meridionale .*
  - *Ridurre della metà la perdita e lo spreco di pesce a livello mondiale entro il 2030.*
  - *Gli esportatori attuali e potenziali dei Paesi in via di sviluppo possono soddisfare pienamente i requisiti del mercato nei principali paesi importatori.*
  - *Eliminazione di tutte le forme di discriminazione e abuso, lungo la filiera, delle donne.*

## 1.2 Il comparto a livello Europeo

L'Unione Europea da due decenni sostiene convintamente lo sviluppo degli allevamenti ittici: dal 2001 al 2014 ha impegnato 1,17 miliardi di euro per l'acquacoltura e dal 2014 al 2018 ha stanziato altri 1,72 miliardi nell'ambito del *Fondo europeo per gli affari marittimi e la pesca* (Feamp).

L'Europa ha pianificato per il 2021-2027 un nuovo round di finanziamenti per lo sviluppo dell'acquacoltura. Nel presentare il nuovo Feamp, la Commissione ha annunciato di voler mettere al centro la sostenibilità ambientale. Il timore del settore però è che dall'Europa possano attivare regole ambientali stringenti che rendano meno competitivi i produttori rispetto a quelli dei Paesi extra-UE che esportano in Europa.

«In Europa c'è molta sensibilità tra i consumatori sull'importanza della conservazione ambientale», ha detto Lovatelli (della divisione Pesca e acquacoltura della FAO). «Devono esserci regole per assicurare che l'allevamento sia sostenibile, ma bisogna stare attenti a non mettere troppa pressione sulle aziende altrimenti non saremo competitivi».

L'allevamento in gabbia è il sistema di allevamento comunemente utilizzato nel Mediterraneo e nel Mar Nero. A seconda dello spazio e delle risorse marine, deve essere integrato, come qualsiasi attività umana, in un approccio di gestione transfrontaliero e intersettoriale. Le zone assegnate per l'acquacoltura (AZA) offrono uno strumento prezioso per inquadrare le attività di acquacoltura nella pianificazione dello spazio marino. Varie specie ittiche vengono coltivate e le specie di molluschi allevate nella regione sono quelle per le quali esiste una tecnologia di coltivazione consolidata. La scelta di coltivare specie specifiche in una data area si basa su diversi fattori come la commerciabilità delle specie in quella zona, l'esistenza di un ambiente adatto per allevare una particolare specie e gli obiettivi dell'agricoltore. Alcune delle principali specie allevate sono descritte di seguito.



### Spigola europea

**Nome scientifico:** *Dicentrarchus labrax*

**Contesto:** La spigola era storicamente coltivata nelle lagune costiere e nei bacini di marea. La spigola europea è stata la prima specie marina non salmonide ad essere coltivata commercialmente in Europa ed è oggi il pesce commerciale più importante ad essere ampiamente coltivato nell'area del Mediterraneo.

Principali paesi produttori UE – Grecia, Spagna, Italia, Francia.

Principali paesi produttori mondiali – Grecia, Turchia, Spagna, Italia, Francia, Croazia.

**Habitat:** Acque marine, salmastre e dolci (specie demersali, che vivono a profondità comprese tra 10 e 100 m).

**Commerciabilità:** Rispetto a molte altre specie ittiche d'allevamento, la spigola europea viene commercializzata principalmente intera e fresca, con volumi limitati venduti congelati e confezionati singolarmente.



### Orata

**Nome scientifico:** *Sparus aurata*

**Contesto:** L'orata era tradizionalmente coltivata estensivamente nelle lagune costiere e negli stagni di acqua salata. L'allevamento artificiale e la produzione in incubatoio sono stati raggiunti con successo negli anni '80 e l'orata è oggi una delle principali specie coltivate nell'acquacoltura del Mediterraneo e del Mar Nero.

Principali paesi produttori UE – Grecia, Spagna, Italia.

Principali paesi produttori mondiali – Grecia, Turchia, Spagna.

**Habitat:** Acque marine e salmastre (specie demersali, che vivono a profondità comprese tra 1 e 150 m e generalmente tra 1 e 30 m).

**Commerciabilità:** L'orata può essere commercializzata in diversi formati, normalmente compresi tra 400 g e 600g. Viene venduto intero e fresco o eviscerato.

Si prevede che la produzione di spigole e di orate aumenterà di circa il 4% nel 2022.

I prezzi delle importazioni nell'UE sono in forte aumento, in particolare per la spigola, a causa di una combinazione di rafforzamento della domanda e di aumento dei costi dei fattori produttivi, accelerati dalla guerra in Ucraina. Durante la pandemia, la spigola e l'orata sono passate attraverso i mercati al dettaglio a causa dell'evaporazione delle vendite dei ristoranti in Europa, ma il settore della ristorazione è tornato a crescere e si sta preparando per la stagione estiva, quando si prevede un aumento della domanda di spigole e orate.

### Magro o Ombrina

**Nome scientifico:** *Argyrosomus regius*

**Contesto:** L'uso del magro in acquacoltura è piuttosto recente poiché la prima produzione commerciale è stata registrata in Francia alla fine degli anni '90. Da allora la produzione si è espansa lentamente nelle zone limitrofe.





Gli Stati membri che producono più ombrina sono la Spagna e la Grecia (rispettivamente 5.303 e 2.415 tonnellate nel 2019, che rappresentano il 76% della produzione UE). Seguono Francia, Croazia e Portogallo, che rappresentano almeno il 5% ciascuno della produzione UE.

A livello UE, la maggior parte della produzione è da allevamento con 8.401 tonnellate nel 2019 (82% della produzione), mentre le catture si sono attestate a 1.861 tonnellate nello stesso anno (18% della produzione UE).

**Habitat:** Acque marine e salmastre (specie bentopelagiche, che vivono a profondità comprese tra 15 e 300 m). Intervallo di temperatura: 13–21 ° C

**Commerciabilità:** I pesci più piccoli (600–1.000 g) vengono venduti interi o sfilettati, mentre i pesci più grandi (1.000 g – 5.000 g) vengono affettati o sfilettati e affumicati. Il processo di affumicatura è abbastanza recente e dà buoni risultati. La carne magra è considerata un prodotto di alta qualità grazie al suo alto contenuto di acidi grassi polinsaturi.



### *Ostrica piatta europea*

**Nome scientifico:** *Ostrea edulis*

**Contesto:** L'ostrica piatta europea, originaria dell'Europa, fa parte della dieta umana da secoli e i romani erano soliti costruire stagni per rifornire e selezionare le ostriche. La cultura su fondale è iniziata nel 1900 lungo la costa mediterranea e, da allora, le tecniche hanno continuato ad evolversi.

**Habitat:** Marino (specie da estuario, che vive a profondità comprese tra 0 e 80 m).

**Intervallo di temperatura:** 10–25 ° C

**Commerciabilità:** L'ostrica piatta europea è tradizionalmente consumata fresca e mangiata sul mezzo guscio. Le ostriche vengono spedite ai mercati locali o distribuite a supermercati e ristoranti. Poiché l'offerta disponibile è diminuita, il prezzo medio è aumentato notevolmente.



### *Ostrica a coppa del Pacifico*

**Nome scientifico:** *Crassostrea gigas*

**Contesto:** L'ostrica a coppa del Pacifico è una delle principali specie di ostriche utilizzate per la coltivazione in molte regioni del mondo grazie al suo potenziale di crescita rapida e all'ampia tolleranza alle condizioni ambientali. La specie è originaria del Giappone ed è stata introdotta in Europa negli anni '70 dopo l'esaurimento dell'ostrica portoghese (*Crassostrea angulata*).

I metodi di coltura estensiva si sono evoluti nel tempo per includere tecniche sospese e fuori dal fondo che utilizzano semi coltivati sia selvatici che in incubatoio.

Principali paesi produttori UE – Francia (primo produttore europeo e quarto mondiale) , Irlanda, Spagna, Portogallo.

Principali paesi produttori mondiali (al di fuori dell'Europa) – Cina, Corea del Sud, Giappone.

**Habitat:** Marino (specie da estuario, profondità che vanno dalla zona intertidale inferiore a 40 m).

**Intervallo di temperatura:** 15-20 ° C

**Commerciabilità:** La durata di conservazione ,relativamente breve, di questa specie è un ostacolo al commercio globale su larga scala di prodotti freschi. La preferenza dei consumatori è spesso per ostriche vive, mezzo guscio o carni appena sgusciate. I prodotti a valore aggiunto e quelli pronti, comprese le ostriche in scatola e le ostriche congelate o sottovuoto preparate con varie salse, rappresentano solo una piccola parte della produzione totale.



### Cozze

**Nome scientifico:** *Mytilus edulis* e *M. galloprovincialis*

**Contesto:** *M. edulis* e *M. galloprovincialis* sono stati raccolti per secoli nella regione mediterranea. Fino al XIX secolo, *Mytilus spp.* sono stati raccolti dagli scogli nella maggior parte dei paesi europei. A cavallo degli anni '70, la cultura tradizionale è migliorata con i nuovi sviluppi tecnologici che utilizzano la cultura sospesa e fluttuante e le tecniche di raccolta dei molluschi.

Principali paesi produttori UE – Francia, Paesi Bassi, Irlanda, Regno Unito, Italia.

**Habitat:** Marino (di solito va dalla zona intertidale bassa delle coste rocciose esposte con un'energia del moto ondoso relativamente alta alla zona intercotidale alta fino alla zona sub-ideale)

**Intervallo di temperatura:** 5–20 ° C

**Commerciabilità:** L'Europa è stata tradizionalmente un mercato di alto valore per *Mytilus spp.*, venduti vivi sul mercato interno. Oggigiorno, si tende a porre maggiore enfasi sui prodotti trasformati, come i piatti pronti, e la percentuale di prodotti surgelati è in aumento.

L'offerta di bivalvi dai principali fornitori europei all'Europa nel 2020 è stata scarsa, a causa di un'estate fredda nel nord del continente, che ha portato a tassi di crescita inferiori per cozze e ostriche.

Gli alti tassi di inflazione in Europa e negli Stati Uniti hanno un impatto sul commercio dei bivalvi. I prezzi sono aumentati di oltre il 20% dall'inizio del 2022.

Questa impennata dei prezzi si spiega principalmente con l'elevato costo del carburante, dato che per la produzione dei bivalvi si utilizzano quantità elevate di carburante. I bivalvi rimangono

popolari tra i consumatori e la riapertura dei ristoranti in Europa dopo la pandemia di COVID-19 ha generato una domanda supplementare, che probabilmente raggiungerà il picco durante la stagione turistica estiva.

La pandemia COVID-19, che ha provocato enormi sconvolgimenti economici e sociali, sta ora diminuendo la sua influenza. Questo ha avuto un effetto significativo sui mercati globali dei prodotti della pesca e dell'acquacoltura.

Le aziende lungo tutta la catena di approvvigionamento sono state in grado di riprendere l'attività grazie all'allentamento o all'eliminazione delle misure di distanziamento fisico, e i ritardi logistici si sono in qualche modo attenuati. La riapertura del settore della ristorazione e la ripresa del turismo hanno dato una spinta alla domanda di molte specie ittiche, in particolare quelle popolari nei menu dei ristoranti. La combinazione di vecchia e nuova domanda ha spinto i prezzi verso l'alto per molti prodotti ittici.

La guerra in Ucraina ha avuto diversi impatti negativi sull'economia globale, che ha un'implicazione diretta per le imprese del settore ittico.

I prezzi dei prodotti di base, compresi quelli alimentari, sono saliti vertiginosamente e hanno alimentato tassi di inflazione che in molti casi non si vedevano da decenni; i costi già elevati di produzione e di trasporto sono aumentati ancora di più e stanno comprimendo i margini, in particolare per gli intermediari della filiera, come i trasformatori.

Le estese sanzioni commerciali e i boicottaggi dei prodotti russi da parte di molte aziende hanno reso necessaria una riorganizzazione di massa delle relazioni commerciali.

Le più recenti previsioni per la produzione ittica mondiale nel 2022 prevedono una crescita dell'1,5%, fino a 184,6 milioni di tonnellate. I ricavi complessivi delle esportazioni dovrebbero aumentare del 2,8% a 178,1 miliardi di dollari, mentre i volumi sono destinati a calare dell'1,9%.

Queste cifre riflettono sia la ripresa in corso del mercato, ma anche i problemi che continuano a presentarsi nella catena di approvvigionamento.

### **1.3 Il Comparto a livello Nazionale**

L'acquacoltura italiana è cresciuta come attività fortemente diversificata grazie alla elevata diversità ambientale che caratterizza il nostro territorio. La scelta di siti adatti è stata sempre ed è tutt'ora l'arma vincente del successo in acquacoltura, naturalmente se accompagnata dalla corretta capacità di gestione dei processi e di definizione del destino dei prodotti.

L'acquacoltura italiana è, infatti, il risultato di una forte interazione tra potenzialità degli ambienti e capacità di trasformazione degli stessi da parte delle comunità locali e, in tempi più moderni, da

parte delle imprese. È soprattutto la gestione ittica delle lagune costiere che nel nostro Paese vanta una tradizione antica e consolidata.

La piscicoltura marina tradizionale italiana è nata nelle lagune costiere e ha raggiunto nella vallicoltura il modello più avanzato, fin dalla fine degli anni sessanta. La messa a punto delle tecniche di riproduzione, sviluppatasi dagli inizi degli anni settanta, ha dato l'avvio alla piscicoltura marina moderna in Italia (Ravagnan, 1978; 1992).

Anche la molluschicoltura italiana ha avuto origine nelle aree marine costiere confinate, come lagune, golfi protetti e aree portuali.

L'acquacoltura marina è iniziata con l'allevamento delle specie che naturalmente frequentano aree costiere confinate, essendo capaci di sopportare gli stress dovuti alle variazioni termiche e di salinità. Tali specie, come spigole (o branzini) e anguille, si sono rivelate anche le più "attrezzate" per sopportare le manipolazioni umane, insite nel processo produttivo, quali raccolta di giovanili, trasporto, selezione, trasferimento alle peschiere di sverno, trasferimento e stabulazione nei vivai.

La moderna piscicoltura italiana ha subito un'accelerazione dopo la seconda guerra mondiale, con la trotticoltura come espressione di punta. Le tecniche di allevamento della trota, tra le più avanzate a livello mondiale, sono considerate di riferimento per l'allevamento di altre specie.

Lo sviluppo dell'attività di acquacoltura italiana è stato accompagnato da una rapida evoluzione delle tecniche produttive, in special modo nei settori della riproduzione artificiale, della gestione sanitaria, della mangimistica e della tecnologia di allevamento.

La ricerca applicata alle tecnologie di allevamento si è poi attivata ideando soluzioni nuove, che hanno portato all'introduzione di sistemi per l'ossigenazione delle acque, al controllo computerizzato dei parametri chimico-fisici dell'acqua e a sistemi sempre più sofisticati per la selezione delle specie. In questo contesto è sorta l'Associazione Piscicoltori Italiani (API) che si configura quale organismo professionale di categoria, costituito nel giugno del 1964 ed eretto Ente Morale con d.p.r. 1011/1970.

Oggi l'API associa oltre 300 imprese di allevamento, di tutte le specie, che rappresentano circa il 90% della produzione nazionale di pesce di allevamento.

L'(API) si propone come scopo la tutela, lo sviluppo e il consolidamento di tutte le attività di allevamento ittico sia in acque interne, sia in acque marine e salmastre. Promuove, pertanto, tutti gli interventi in campo economico, scientifico, tecnico, assicurativo, professionale, sindacale e legale che sono necessari per conseguire tale obiettivo (Cataudella ,2001).

Dal 2014 al 2020 in Italia sono stati assegnati 173 milioni di euro per gli allevamenti ittici, tra fondi europei, nazionali e locali, mettendo in cantiere un aumento della produzione di 158 mila tonnellate di pesce allevato. Nonostante i finanziamenti pubblici, l'allevamento ittico in Italia non ha spiccato

il volo, spesso ostacolato dalle normative, in particolare per quanto riguarda i progetti in mare di spigole e orate. In diverse aree dove sono nati gli impianti si è sviluppato un dibattito sull'impatto ambientale delle gabbie, che racchiudono intensivamente centinaia di migliaia di pesci. Secondo Giuseppe Nascetti, responsabile del centro Ittiogenico delle Saline di Tarquinia, «la produzione di pesce in modo intensivo provoca dei problemi, soprattutto legati all'ambiente in cui vengono collocati gli impianti di acquacoltura o di maricoltura, dovuti al fatto che per allevare queste grandi quantità di pesci c'è bisogno di nutrienti, che vengono messi nelle gabbie ma poi vanno nell'ambiente, insieme ad altri residui».

Nonostante i progressi tecnologici sui mangimi per diminuire questo impatto, diverse ricerche confermano il problema:

Tra i materiali inorganici si fa riferimento ai farmaci utilizzati negli allevamenti ittici. In Italia è autorizzato l'uso di sei principi attivi, di cui cinque antibiotici e un anestetico, ma anche altri farmaci (tra cui antiparassitari e antifungini) possono in alcuni casi essere usati "in deroga".

L'allevamento di spigole e orate di Lavagna utilizza delle gabbie offshore, a grande distanza dalla costa, in acque profonde e con forti correnti, per favorire il ricambio d'acqua e la dispersione di azoto e fosforo, evitandone l'accumulo nelle acque e nei fondali del golfo. Per stare in siti così esposti, però, questo tipo di gabbie deve resistere alle correnti e alle frequenti mareggiate. Questo implica costi di progettazione e gestione molto elevati: «Ci sono due o tre contro - racconta Roberto Cò, amministratore delegato della società Aqua - infatti ad oggi l'acquacoltura offshore in siti così esposti è un'acquacoltura ancora limitata in termini numerici, il grosso della produzione si trova in aree più riparate». Nonostante la tecnologia, nel 2018 una mareggiata ha distrutto l'allevamento di Lavagna, poi ripristinato l'anno seguente. La maggior parte degli allevamenti di spigole e orate in Italia sorge in aree di mare meno esposte alle correnti, in prossimità della costa o all'interno di golfi, come il Golfo di Follonica o il Golfo di Gaeta.

Mentre il dibattito è aperto sull'effettiva sostenibilità degli allevamenti di pesce, in particolare in mare, fino ad oggi i fondi europei non sono stati accompagnati da regole precise sull'impatto ambientale. Nel 2013 l'allora commissario alla pesca Janez Potočnik disse che «la direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino non stabilisce requisiti specifici per i singoli progetti di acquacoltura, bensì prevede il conseguimento entro il 2020 di un buono stato ecologico delle acque marine, che deve essere garantito dagli Stati membri».

«Ci sono delle regole per poter impiantare un allevamento di maricoltura, ma non ci sono delle regole precise dovute alla dimostrazione scientifica dell'impatto ambientale di questi impianti» - sostiene Nascetti «se vogliamo dare davvero dei contenuti allo sviluppo sostenibile, dobbiamo

dimostrare che non è sostenibile solo dal punto di vista economico ma soprattutto ambientale; È ancora tutto molto da studiare e da capire».

## 2. Criticità e nuove sfide per il settore dell'acquacoltura

La domanda di pesce alimentare aumenta ogni anno e non si prevede che l'offerta dalla raccolta selvatica aumenti sostanzialmente in futuro. L'unica altra fonte per la popolazione umana per produrre pesce alimentare è l'acquacoltura e la crescita globale dell'acquacoltura è stata straordinaria (FAO 2022).

Il rapporto *Lo Stato della Pesca e dell'Acquacoltura Mondiale* (SOFIA) indica che nel 2030 la produzione ittica totale è destinata ad arrivare a 204 milioni di tonnellate, un incremento del 15% rispetto al 2018, con la quota dell'acquacoltura in crescita rispetto all'attuale 46%. Tale crescita è pari a circa la metà dell'aumento registrato nei 10 anni precedenti, il che si traduce in un consumo annuo di pesce che si prevede raggiungerà i 21,5 chilogrammi pro capite entro il 2030 (Fig. 5).

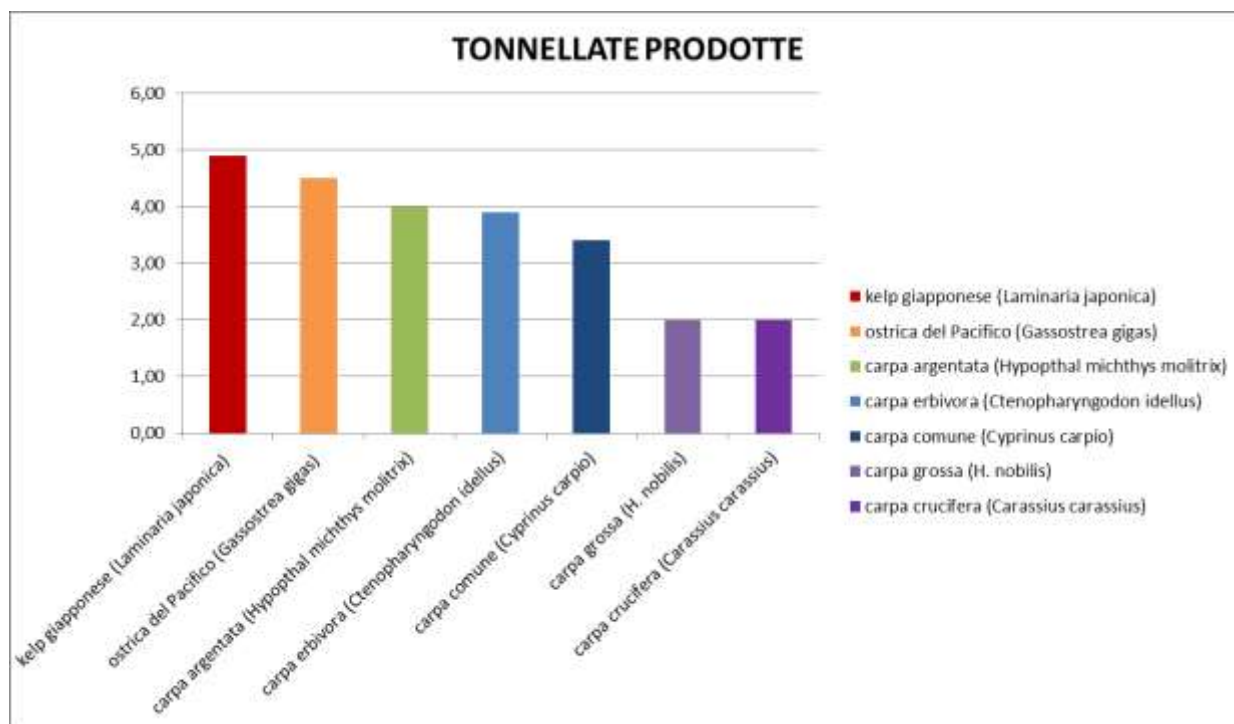


Fig. 5. Grafico della produzione mondiale nel 2020, delle principali specie allevate.

Secondo l'analisi di benchmark del rapporto FAO 2022, circa il 34,2% degli stock ittici viene pescato a livelli biologicamente non sostenibili. Questa percentuale è troppo elevata e non sta migliorando a livello globale, anche se è bene sapere che il 78,7% di tutto il pesce sbarcato proviene da stock biologicamente sostenibili.

Inoltre, i trend relativi alla sostenibilità di molte delle principali specie stanno migliorando. Le catture di tutte le specie di tonno hanno raggiunto il livello massimo, pari a circa 7,9 milioni di tonnellate nel 2018, e due terzi di questi stock ora vengono pescati a livelli biologicamente sostenibili, un netto incremento di 10 punti percentuali in soli due anni, che conferma l'efficacia di una gestione accurata delle risorse ittiche in un settore caratterizzato da materia prima di alto valore e notevole sovraccapacità di alcune flotte di pescherecci.

Secondo la FAO l'espansione dell'acquacoltura continuerà, anche se a un ritmo più lento, e nel prossimo decennio il pesce d'allevamento contribuirà a incrementare la quota del consumo e del commercio. In Africa si prevede che la produzione dell'acquacoltura crescerà del 48%, contribuendo a mitigare la prevista riduzione del consumo di pesce pro capite nel continente.

## **2.1 Criticità**

La storia dell'acquacoltura non sarebbe completa senza menzionare la controversia che vortica intorno a questa pratica, in particolare per quanto riguarda i pesci marini (incluso il salmone anadromo) prodotti in impianti costieri o in mare aperto. L'opposizione all'acquacoltura nei beni comuni è apparsa per la prima volta negli Stati Uniti negli 1980. Sembra essere stata inizialmente una questione che riguardava soprattutto i proprietari di case montane nella regione del Puget Sound dello Stato di Washington che si opponevano a quello che chiamavano inquinamento visivo dagli allevamenti di salmone in rete. È interessante notare che mentre le operazioni di coltura del pesce a Washington erano viste come un pugno nell'occhio, le loro controparti in Giappone erano considerate amenità perché stavano producendo prodotti alimentari altamente desiderabili. In Stati Uniti, Canada e parte dell'Europa, l'opposizione all'acquacoltura è sorta ovunque l'allevamento del pesce fosse iniziato in acque pubbliche. Nel corso del tempo, si è sviluppata una lista di problemi. Anche nelle aree in cui vennero messi in atto rigorosi processi di autorizzazioni, gli oppositori sono stati spesso in grado di bloccare il processo di autorizzazione per mesi o addirittura anni. Questi effetti dannosi includono i conflitti sociali tra gli utenti della terra e delle risorse acquatiche (specialmente l'acqua) e la distruzione di importanti servizi ecosistemici.

Inoltre, le recenti imprese di acquacoltura hanno sollevato preoccupazione e dibattito sociale, specialmente per quanto riguarda: la cattiva selezione del sito; la distruzione dell'habitat (per esempio delle mangrovie); l'uso di sostanze chimiche nocive e farmaci veterinari; l'impatto delle fughe sugli stock selvatici; la produzione inefficiente o insostenibile di farina e olio di pesce; gli impatti sociali e culturali sull'acquacoltura e sui lavoratori e le comunità del settore. Alcuni fattori derivati dall'acquacoltura sono effettivamente un potenziale problema ambientale se mal gestiti.

Come tutte le forme di produzione alimentare, l'allevamento di specie marine, sia che venga praticato in luoghi sulla terraferma, vicino alla costa o in mare aperto, avrà qualche effetto sull'ambiente. Gli effetti possono essere sia negativi che positivi e possono variare a seconda della specie, del luogo e delle pratiche di allevamento. Le preoccupazioni sui potenziali impatti dell'allevamento di pesci in mare aperto rispecchiano essenzialmente quelli della Tabella 2.

Se pur con un peso ridotto rispetto alla pesca da cattura, anche per l'acquacoltura marina italiana le idee alla base delle scelte dei soggetti a vario titolo coinvolti (produttori, consumatori, ambientalisti, amministratori, politici, ecc.) sono state condizionate e indirizzate dai contesti generati dal Codice di Condotta per la Pesca Responsabile (FAO, 1995). Così come per la pesca, con la definizione di un'acquacoltura responsabile, all'art. 9 del codice, vengono definiti i principi di una acquacoltura capace di durare nel tempo, grazie ad una serie di raccomandazioni agli Stati.

## **2.2 Sostenibilità**

Anche se non c'è consenso su una definizione funzionale di sostenibilità, il concetto è inteso a comprendere l'intersezione di tre domini che si sovrappongono: economico, ambientale e sociale. La sostenibilità implica la continuità della produzione, efficienza nell'uso delle risorse e responsabilità per il benessere dell'ambiente circostante, degli animali allevati, dei lavoratori agricoli, dei consumatori di pesce e della società in generale.

Per questo negli ultimi due decenni circa è stata condotta una notevole quantità di ricerche per determinare quali obiezioni sono valide, in modo da migliorare le pratiche di gestione e sviluppare nuovi approcci per affrontare il problema. Diversi approcci sono stati attuati a questo proposito:

Il primo di questi approcci ha promosso sistemi tradizionali di acquacoltura sostenibile dando loro il giusto riconoscimento. Un esempio è la designazione GIAHS (sistemi di patrimonio agricolo di importanza globale) che, per esempio, è stata assegnata al sistema cinese della coesione tra acquacoltura e produzione di riso e al suo sistema gelso-diga e pesce-stagno (FAO, 2022).

Altri sforzi hanno privilegiato lo sviluppo di codici di condotta, buone pratiche di acquacoltura, buone (o migliori) pratiche di gestione, linee guida tecniche, ecc. e la loro attuazione da parte dei governi e le parti interessate attraverso incentivi (sussidi, sgravi fiscali, supporto tecnico, ricerca e sviluppo, ecc.) e facendo rispettare regolamenti contro le pratiche non sostenibili (requisiti rigorosi per ottenere i permessi, regolamenti che vietano le pratiche non sostenibili, istituzione e applicazione di farmaci veterinari autorizzati, ecc.).



Tabella 2 *Potenziati impatti ambientali dell'allevamento di pesci a rete marina (NOAA 2018).*

<b>Effetti</b>	<b>Fonti</b>
<b>Aumento del carico organico</b>	<b>Carico organico particolato</b>
	Materiale fecale dei pesci
	Mangime per pesci non consumato
	Detriti di organismi biofouling
	Morte di pesci decomposti nell'allevamento
	<b>Carico organico solubile</b>
	Componenti disciolti di mangime non consumato
	Rifiuti del raccolto (sangue)
<b>Aumento del carico inorganico</b>	Azoto e fosforo dai prodotti di escrezione dei pesci Oligoelementi e micronutrienti (per esempio, vitamine) nella materia fecale dei pesci e nel mangime non consumato
<b>Metalli pesanti residui</b>	Composti di zinco nel materiale fecale dei pesci Composti di zinco nel mangime non consumato Composti di rame nei trattamenti antivegetativi
<b>La trasmissione di malattie e degli organismi</b>	Parassiti e patogeni locali Parassiti e patogeni esotici
<b>Terapie residuali</b>	Trattamento per inoculazione Trattamento nel mangime Trattamento nei bagni
<b>Interazione biologica delle fughe con le popolazioni selvatiche</b>	Rilascio non pianificato di pesci d'allevamento Rilascio non pianificato di gameti e uova fertili Infezione incrociata di parassiti e agenti patogeni Rilascio pianificato di pesci d'allevamento per la valorizzazione o ripopolamento
<b>Interazione fisica con la fauna marina selvatica</b>	Impigliamento con reti perse e altro materiale di scarto Impigliamento con reti sul posto, strutture e ormeggi, ecc. Attrazione di specie di fauna selvatica (pesci, uccelli, mammiferi marini, rettili) Controllo dei predatori
<b>Impatto fisico sull'habitat marino</b>	Strutture galleggianti di contenimento del pesce e linee di ormeggio Ancore e ormeggi
<b>Utilizzo di novellame selvatico per l'accrescimento</b>	Raccolta di specie target e non target come avannotti, giovani e subadulti
<b>Aumento della pressione di pesca sulle piccole popolazioni di pesci pelagici</b>	Raccolta di pesce industriale per mangime per pesci

Nel 1995, la FAO ha adottato il Codice di condotta per la pesca responsabile, il quadro di riferimento per gli sforzi nazionali, regionali e internazionali per garantire una produzione e uno

sfruttamento sostenibili delle risorse acquatiche viventi in armonia con l'ambiente (FAO, 1995). Dal 1997, il Codice è stato arricchito da una strategia per migliorare l'informazione sullo stato e le tendenze dell'acquacoltura e diverse linee guida tecniche per promuovere l'acquacoltura sostenibile (FAO, 2022).

L'espansione della pesca globale e del commercio dell'acquacoltura, in un momento in cui il cibo e questioni di protezione dei consumatori e degli allarmi negli anni '90 e 2000, ha portato all'emergere di leggi e regolamenti alimentari più severi, standard privati e requisiti basati sul mercato, inizialmente per affrontare la sicurezza alimentare promuovendo buone pratiche dell'acquacoltura, e gradualmente includendo fattori ambientali, sociali e di benessere degli animali.

Tuttavia, questi sviluppi hanno spesso ignorato l'onere per gli allevatori (per esempio il costo della certificazione, la capacità tecnica delle piccole parti interessate, o la necessità di conformarsi a vari standard e norme concorrenti). Inoltre, non sempre considerano le specificità locali dei sistemi di produzione (Mialhe et al., 2018). Di conseguenza, approcci inclusivi, non settoriali, partecipativi e olistici, come l'approccio ecosistemico all'acquacoltura, sono stati promossi per ristabilire un compromesso soddisfacente tra le varie dimensioni locali e globali della sostenibilità dell'acquacoltura. La tecnologia è stata anche avanzata in termini di design delle gabbie per i sistemi offshore che resisteranno meglio alle tempeste e serviranno a prevenire le fughe. Tutte queste problematiche e soluzioni sono trattate nel nuovo piano decennale redatto dagli stati membri delle nazioni unite e prende il nome di Agenda 2030 adottata nel 2015.

L'Agenda 2030 si basa sulle fondamenta degli obiettivi di sviluppo del millennio e fornisce una serie completa di obiettivi in base ai quali le imprese, i governi e gli individui possono concentrare i loro sforzi per il miglioramento della società.

Gli obiettivi sono costruiti su 17 SDGs (obiettivi di sviluppo sostenibile) ad ampio raggio; che mirano a porre fine a tutte le forme di povertà, ridurre la disuguaglianza e affrontare il cambiamento climatico. Lo sviluppo inclusivo è al centro di tutte le politiche. Gli obiettivi sono altamente interconnessi, in modo tale che il progresso in un'area aiuterà il raggiungimento di altri obiettivi e porterà benefici alla società nel suo complesso.

Avere una serie di obiettivi quantificabili e concordati permette ai singoli paesi, alle entità subnazionali e altri organismi di formulare politiche e assistenza in modo mirato, coordinato ed efficace. Come parte di questo processo, il genere e parità sociale dovrebbero essere affrontati, fornendo anche opportunità per migliorare il livello di nutrizione e garantire mezzi di sussistenza sostenibili per coloro che ne hanno più bisogno (United Nations 2019).

## 2.3 Benessere animale

Definire il benessere animale è difficile quando si parla di allevamento ittico e quindi di specie ittiche; sia che si parli di pesci che di molluschi. Il benessere animale è un campo complicato che varia da specie a specie e anche per gli allevamenti terrestri tradizionali è da pochi decenni che questi fattori vengono considerati davvero importanti per l'animale e non solo una limitazione economica per l'allevamento. Nel campo ittico, essendo relativamente nuovo, le informazioni sul benessere sono rare e difficilmente reperibili e quantificabili. Alcune soluzioni possono aumentare la produttività del comparto e per questo sono state studiate maggiormente; come per esempio, la chimica dell'acqua con le variazioni del pH e della temperatura o la presenza di sostanze azotate inquinanti derivate da un allevamento intensivo che riducono la crescita delle specie allevate. Altre invece, come il livello di sofferenza degli animali durante la pesca oppure la quantità adeguata di pesce e microelementi da inserire nelle diete, sono ancora un'incognita che deve essere studiata attentamente. Negli ultimi anni è stata condotta una notevole quantità di lavoro per trovare fonti proteiche alternative per sostituire la farina di pesce. I nutrizionisti hanno anche cercato modi per migliorare la digeribilità del fosforo nei mangimi per pesci per ridurre il potenziale di eutrofizzazione dei fondali.

Come la descrive Melba Reantso della FAO,

*"l'acquacoltura è ora conosciuta come la nuova agricoltura emergente, il catalizzatore della 'rivoluzione blu', la risposta al futuro approvvigionamento ittico del mondo, il settore di produzione alimentare più veloce, il futuro della pesca".*

Eppure, il compito che ci aspetta è strettamente sfidante. Si prevede che l'acquacoltura fornisca la sicurezza globale dei prodotti ittici, il benessere nutrizionale, la riduzione della povertà e sviluppo economico soddisfacendo tutte queste richieste, ma anche realizzando questo con un impatto minimo sull'ambiente e il massimo beneficio per la società.

*"L'acquacoltura è un'impresa estremamente diversificata. Lavoriamo in ambienti molto diversi (acqua dolce, acqua salmastra, acqua salata), che possono rappresentare diverse sfide fisiologiche per l'animale allevato. Lavoriamo anche con molte specie diverse, alcune stime superano le 400, e il numero cresce ogni anno. Per rendere le cose ancora più complicate, la maggior parte di queste specie non sono nemmeno addomesticate." (Tidwell,1997)*

Molti dei pesci di allevamento sono carnivori. Perché? Perché questo è ciò che i consumatori vogliono comprare, forse perché il sapore della carne è migliore rispetto a specie erbivore; tuttavia, questo crea molte difficoltà quando si tratta di formulare diete e anche in termini di sistemi di produzione. I pollai avrebbero un aspetto molto diverso se i polli fossero inclini a mangiarsi a vicenda.

Molti degli animali da allevamento vivono sospesi o nuotano nella colonna d'acqua (definito metodo pelagico). Non c'è nessun animale terrestre che galleggi o voli a mezz'aria. Per l'acquacoltura questo può essere un vantaggio perché possiamo utilizzare tutte le tre dimensioni del sistema di coltura. Tuttavia, può anche essere uno svantaggio in quanto molti pesci non si nutrono facilmente in superficie o sul fondo. E la diffusione delle malattie è molto amplificata.

Per alcune specie d'acquacoltura, è il contrario. Gli animali sono completamente sessili e attaccati al fondo (come le ostriche). Nell'agricoltura terrestre questo è vero per le piante, ma non per gli animali. A causa di ciò, questi animali non sono in grado di evitare problemi di cattiva qualità dell'acqua o di spostarsi per evitare i predatori. Inoltre, questi animali si nutrono per filtraggio di microrganismi, un atto complicato da regolare.

L'alimentazione non è però l'unica problematica del comparto ittico. Un altro problema è l'osmoregolazione ; infatti per gli animali terrestri l'aria è praticamente aria, ma per gli animali acquatici l'acqua dolce e l'acqua salata rappresentano ambienti molto diversi e sfide fisiologiche. Praticamente tutti gli animali acquatici devono lavorare contro il loro ambiente esterno per mantenere il loro ambiente interno. La maggior parte dei pesci richiedono una concentrazione osmotica interna da 250 a 500 m Osmol/kg. Tuttavia, l'acqua dolce è <0,1 m Osmol/kg e l'acqua di mare è circa 1.000 m Osmol/kg (Evans e Claiborne 2008). Ciò significa che nei pesci marini , l'acqua cerca costantemente di lasciare il pesce e nelle specie d'acqua dolce, l'acqua cerca costantemente di entrare nel pesce. Alcune specie, conosciute come eurialine hanno meccanismi che permettono loro di adattarsi ad una gamma di salinità. Altre, conosciute come stenoaline, sono strettamente confinate in un ambiente o l'altro. Ancor più degli animali da allevamento terrestri, gli animali acquatici sono prigionieri del loro ambiente. Tutto il bestiame terrestre è omeotermo (a sangue caldo); ciò significa che sono in grado di regolare la loro temperatura corporea per rimanere all'interno della gamma ristretta necessaria per il loro corretto funzionamento. Viceversa, gli animali d'acquacoltura sono principalmente pecilotermi (a sangue freddo), quindi la loro temperatura corporea è fondamentalmente controllata dalla temperatura del loro ambiente.

Gli animali terrestri vivono in un ambiente in cui la percentuale di ossigeno è relativamente alta (>21% in peso) e usano i polmoni per lo scambio di gas. Gli animali acquatici hanno evoluto diverse strutture per utilizzare l'ossigeno disciolto nell'acqua. Tuttavia, l'ossigeno è molto più scarso nell'acqua (0,0001% in peso) rendendo un'adeguata fornitura di ossigeno una considerazione maggiore per l'animale acquatico. Con l'aumento della temperatura dell'acqua, il metabolismo dell'animale (e la sua richiesta di ossigeno) aumenta; tuttavia, all'aumentare della temperatura diminuisce la disponibilità d'ossigeno, il che significa che è meno disponibile proprio quando l'animale ne ha più bisogno. In questo senso,

“*La natura ha giocato uno scherzo crudele all'acquacoltore*” (Timmons et al. 2002).

La maggior parte degli animali d'acquacoltura sono R-strateghi mentre la maggior parte del bestiame terrestre è K-strategico. In termini semplici, gli animali R-strateghi producono molta prole ma investono poca cura o energia in ognuno di essi. Al contrario, i K-strateghi hanno meno prole con più investimenti in ciascuno. La fecondità e il numero potenziale di prole sono spesso molto più alti negli animali acquatici che in quelli terrestri. Una singola ostrica adulta può produrre da 20 a 30 milioni di uova alla volta (Galtsoff 1964) e il merluzzo atlantico (*Gadus morhua*) produce 10 milioni di uova per deposizione (Williams 1975). In oltre la prole si presenta minuscola alla nascita e l'alimentazione è molto difficoltosa. Le larve appena nate possono essere lunghe solo 100-200 µm di lunghezza e richiedono alghe unicellulari o rotiferi (<200 µm) come loro dieta iniziale. La cattura e il trasporto di avannotti è attuata tramite passaggio da gabbie a maglia sempre più grossa in base alle dimensioni dei pesci. In alcuni allevamenti il periodo di accrescimento degli avannotti viene fatto in vasche situate sulla costa, per quanto riguarda gli allevamenti in mare oppure semplicemente in reti a maglia più fine per gli allevamenti in stagno .

Tutti questi fattori ,estremamente differenti rispetto all'allevamento terrestre, fanno sì che il benessere animale in acquacoltura sia ancora ridotto e una delle principali cause di riluttanza nel consumatore.

### **2.3 Cattura**

Per quanto riguarda la raccolta dei molluschi o mitili i metodi utilizzati sono principalmente metodi di raccolta tradizionali come rastrelli, draghe o raccolta a mano con la bassa marea.

Questa descrizione lo fa sembrare facile, ma una volta che la raccolta si sviluppano su larga scala può diventare complicato e dispendioso. Tonnellate di molluschi devono essere maneggiati su base settimanale, facendo attenzione a mantenere gli animali vivi, integri e sani. Gli sforzi per la raccolta possono facilmente comprendere il 30% dei costi operativi. Per risolvere il problema i mitilicoltori neozelandesi hanno sviluppato imbarcazioni e attrezzature in grado di raccogliere più di venti tonnellate in un solo giorno con un equipaggio di tre persone. Gli allevatori di vongole nel nord-ovest del Pacifico e in Europa hanno modificato piccoli trattori progettati per la raccolta di bulbi di tulipani per ridurre i costi di raccolta di oltre l'80% (FAO 2022).

Per quanto riguarda i pesci , le tecniche di cattura sono di due tipi:

Il sistema a volante rientra tra quelli definiti attivi, in quanto il pesce viene catturato attraverso il movimento della rete, che in questo caso specifico viene trainata dal natante.

Si tratta di un'attività molto regolamentata, che risulta vietata entro una distanza pari a 3 miglia dalla costa o nelle zone di mare caratterizzate da fondali di profondità inferiore a 50 m.

Mentre la tecnica a cianciuolo o lampara, nonostante le evoluzioni tecnologiche acquisite nel corso degli anni relativamente alle tipologie di imbarcazioni, alle strumentazioni di bordo ed agli attrezzi da pesca, racchiude in sé l'essenza della pesca tradizionale, risultando tutt'oggi molto affascinante e suggestiva. Si tratta di un'attività di pesca selettiva che si svolge in orario notturno e che si basa sull'attrazione in superficie dei banchi di pesce tramite la luce; questa viene prodotta da una lampada installata a poppa di alcune imbarcazioni ausiliarie, calate sulla zona di pesca da parte del natante principale.

L'azione vera e propria di cattura viene condotta da parte del natante principale, generalmente di dimensioni medio-grandi, che cala una rete effettuando una manovra atta a circuire il banco di pesce attirato in superficie dalle luci.

La pesca con la lampara viene regolamentata da una serie di normative che in Mediterraneo vietano le operazioni entro una distanza di 300 metri dalla costa o all'interno dell'isobata di 50 m, nel caso in cui tale profondità venga raggiunta ad una distanza inferiore dalla terraferma (*Angelo Citro ed altri, Tecnologia di produzione, sicurezza alimentare e analisi sul campo tra i produttori, 2015*).

Un altro metodo di pesca che è ,però, molto controverso è la pesca con elettro-storditore ; un metodo di cattura illegale nel nostro Paese che però ha trovato ampia applicazione tra i pescatori di frodo poiché consente loro di catturare considerevoli quantità di pescato ,soprattutto di acqua dolce, in tempi brevi. In Italia viene autorizzata solo per scopi scientifici e/o conservativi. Il meccanismo d'azione si basa sugli effetti che un campo elettrico ha sui pesci, dopo aver immerso in acqua due elettrodi, un polo positivo ed un polo negativo. I pesci che si trovano all'interno del campo elettrico delimitato dai due poli vengono attratti dal polo positivo, quindi iniziano a nuotare verso questo per poi rimanere storditi dalla scossa elettrica man mano che si avvicinano all'elettrodo. Questo metodo di cattura è complicato e se mal gestito può causare gravi danni al pescato oltre ad avere dei rischi anche per l'operatore.

### **3. Sistemi di produzione**

I sistemi di produzione in acquacoltura sono vari; 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:

1. sistemi aperti, in cui la produzione è ottenuta in acque naturali (es. corsi d'acqua, laghi, mare);
- sistemi di molluschi (colture sospese)

- gabbie o recinti a rete,
- 2. sistemi semichiusi, dove la produzione è ottenuta prelevando acqua da risorse naturali, cui fa ritorno dopo un unico passaggio attraverso il sistema;
- Raceway
- Stagni
- 3. sistemi chiusi, in cui l'acqua non è mai rinnovata oppure è rinnovata ad ampi intervalli di tempo.

### **3.1 Sistemi aperti**

I sistemi aperti, pur essendo quelli di più antica concezione, sono tuttora quelli più utilizzati. Questi sistemi sono normalmente corpi d'acqua naturali che vengono ripopolati per la produzione commerciale. Molti di questi sistemi potrebbero essere considerati di miglioramento degli stock piuttosto che di acquacoltura.

Molti metodi di produzione nei sistemi aperti si basano sul movimento naturale dell'acqua dalle maree, dalle correnti o dall'azione del vento per spostare i prodotti di scarto dagli animali e portare acqua nuova, pulita e altamente ossigenata a quest'ultimi. Per i sistemi più estensivi, il tasso di stoccaggio e a volte il substrato aggiunto sono gli unici input di gestione. I principali vantaggi dei sistemi di tipo aperto sono rappresentati da bassi costi d'investimento e limitate necessità gestionali.

Poiché questi sistemi usano l'ambiente naturale per la produzione, gli investimenti iniziali possono essere relativamente bassi. Può essere solo una questione di rilasciare pesci o molluschi d'allevamento, lasciarli crescere per un periodo di tempo, e poi tornare per il raccolto. Pertanto, i costi di gestione e di input sono anche relativamente bassi. Tuttavia, i grandi corpi idrici necessari per il sistema aperto spesso coinvolgono acque pubbliche o acque che sono circondate da più proprietari.

Questo può portare a questioni di proprietà del sistema culturale e persino di proprietà della coltura (Pillay e Kutty 2005). Molti sistemi di molluschi fanno affidamento su affitti da enti governativi, le cui concessioni possono essere fortemente influenzate dall'opinione pubblica.

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. I sistemi di molluschi possono effettivamente essere agenti significativi per un cambiamento positivo dell'ambiente, filtrando i nutrienti in eccesso e gli scarti derivati dalla produzione di alimenti per il bestiame terrestre, dalla fertilizzazione dei prati e da

altri fattori (Subasinghe 2007) riducendo così l' eutrofizzazione delle acque dovuta ad un eccessivo impiego di fertilizzanti.

Un aspetto negativo dei bassi input di gestione nell'acquacoltura aperta è che abbiamo anche poca supervisione o controllo. Il bracconaggio, ad esempio, può essere un problema.

Non solo il bracconaggio ma anche la presenza di predatori può ridurre le capacità di crescita, nel caso dei molluschi si sollevano le reti d'accrescimento di almeno 0,3/0,6 metri dal fondale per impedire a stelle marine e lumache (ostrica-perforatrice) di banchettare con i mitili. (Stickney 1979).

All'interno della categoria dei sistemi aperti abbiamo una serie di metodi di produzione formati da galleggianti, vassoi e zattere.

#### Zattere e coltura sospesa:

Mettendo gli animali nei contenitori, questi animali normalmente bentonici possono essere sospesi dal fondo. Questo ha il vantaggio non solo di ridurre la predazione (come menzionato in precedenza), ma anche di aprire tutte e tre le dimensioni della colonna d'acqua alla produzione; e permette anche di sfruttare profondità dove il fitoplancton (la fonte primaria di cibo per gli organismi filtratori) si trova a densità massime.

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 l'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 vengono poi appese a sistemi di supporto galleggianti o a pali infissi sul fondo (es. pergolati). Uno dei vantaggi di questo sistema consiste nella facilità di installazione, di controllo, di manipolazione e di raccolta dei mitili così confezionati (Beveridge, 2004).

#### Gabbie e recinti di rete:

La coltura in gabbia è sempre un sistema aperto usato per pesci e, di rado, crostacei e presenta una recinzione in una parte dell'habitat. Il fondo delle gabbie è quello fangoso delle acque dove sono inserite mentre, in altri casi, sono sospese con una base a rete. Possono avere varie dimensioni a seconda di dove vengono posizionate: le più piccole da 1 a 4 m<sup>3</sup> per stagni d'acqua dolce mentre dai 20000 ai 60000 m<sup>3</sup> in ambienti marini. Quest'ultime sono progettate per supportare l'usura delle acque offshore non protette. Possono anche essere strutture mobili e chiuse.

Per la produzione di queste gabbie vengono utilizzate diverse reti tessute con polimeri sintetici. I più utilizzati sono il nylon o la poliammide (PA), il poliestere (PES), il polipropilene (PP), il



polietilene (PE) e il polietilene ad alte prestazioni (HPPE) meglio conosciuto con il nome commerciale “dyneema”.

Le dimensioni delle maglie di queste reti hanno delle caratteristiche che variano in base alla taglia dei pesci allevati e, inoltre, possono avere colorazioni differenti qualora si presentassero casi di comportamento aggressivo ; si è infatti osservato ,nell'allevamento di orate ,un aumento degli attacchi alle reti bianche mentre questo comportamento è significativamente ridotto quando si utilizzano reti di colore nero probabilmente perché il riverbero della luce solare sul tessuto bianco infastidisce i pesci (Cardia e Lovatelli 2015).

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

- 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.
- 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.
- 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.

Questo processo di allevamento in gabbie ha dimostrato di essere una situazione ottimale per i pesci soprattutto per la similitudine con l'habitat naturale migliorando la velocità di accrescimento, sopravvivenza e qualità produttiva.

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.

La Norvegia ,con la sua conformazione costiera, è prima produttrice di salmoni mentre il Mediterraneo ha il primato delle orate e spigole. Queste gabbie si trovano in aree inshore al riparo da eventi atmosferici( golfi, baie, laghi..). Inoltre per sfruttare anche il mare aperto sono state

progettate strutture leggere e flessibili in gomma, ed altre più pesanti , resistenti alle sollecitazioni ( Lindberg, 1979; Svealv e Larsen, 1988; Karlsen, 1988).

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 , cilindri di plastica vuoti, blocchi di schiuma plastica).Normalmente, le gabbie di questo tipo sono ancorate in piccoli gruppi o allineate in serie (Fig.6).



*Fig.6. Allevamento in gabbie galleggianti*

Le esigenze di accessibilità hanno portato allo sviluppo di nuove gabbie a piattaforma, ancorate alla terra ferma o in prossimità di questa, costituite da 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 auto-alimentatori ma si stanno diffondendo anche impianti di trasporto e di distribuzione del mangime, funzionanti ad aria compressa o ad acqua, con comando a distanza. 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).

Solitamente gli impianti inshore hanno costi contenuti ma i tempi per le autorizzazioni spesso sono lunghi. Il vantaggio, forse, maggiore delle gabbie mobili sta proprio nella possibilità di spostare la struttura a seconda delle esigenze. In caso di mareggiate, durante la raccolta e anche per evitare

problemi sui fondali qualora fossero posizionate in aree lagunari, di accumulo di detriti che possono compromettere la salute sia dei pesci che dei consumatori (Grau et al., 1993; O'Connor et al, 1993). La maggior parte delle gabbie presenta un volume interno compreso tra 100 e 500 m<sup>3</sup>; tuttavia, nei modelli di gabbie più grandi il volume interno può superare i 1000 m<sup>3</sup>. 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 (Fornshell, e Hinshaw, 2008)

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 (Beveridge 2004).

Uno studio norvegese ha confrontato due gabbie di diverso perimetro (50 e 90 m<sup>3</sup>) 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 (Grau 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.

I pesci possono essere stoccati alla densità necessaria per raggiungere gli obiettivi finali di produzione (cioè, il numero desiderato e la dimensione del raccolto meno la mortalità prevista) o in un processo a due stadi in cui i pesci piccoli possono essere stoccati ad alte densità e poi ripopolati in gabbie aggiuntive a densità inferiori man mano che la loro biomassa aumenta.

Quale strategia viene utilizzata dipende spesso del tempo necessario per portare i pesci alla dimensione finale di mercato desiderata. Spesso le gabbie sono discusse in termini di densità del pesce rispetto al volume della gabbia. In generale, le gabbie possono essere a bassa densità/alto

volume o ad alta densità/basso volume. Le operazioni di coltura in gabbia marina sono di solito a bassa densità/alto volume. In questi casi, le densità da 5 a 20 pesci/m<sup>3</sup> sono comuni, rendendosi conto che spesso le dimensioni del raccolto sono di diversi chilogrammi (ad esempio, il salmone atlantico viene solitamente raccolto a 4 chilogrammi o più).

Le gabbie ad alta densità/basso volume sono più comuni nelle colture in gabbia in acqua dolce.

In questi sistemi le gabbie sono spesso stoccate a densità da 150 a 450 pesci per m<sup>3</sup> con un peso target di un chilogrammo o meno. Specie comunemente coltivate a queste densità includono pesci gatto, tilapia, carpe e altre specie d'acqua dolce (Schmittou 1993; Duarte et al. 1993; Masser 1997).

Queste densità più alte sono spesso necessarie per alcune specie (come il pesce gatto) per minimizzare le interazioni aggressive, che possono verificarsi a densità inferiori (Masser 2004).

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.

Raramente però in commercio sono presenti gabbie che possiedono tutte queste qualità, per cui ogni produttore deve valutare quali sono i fattori più importanti da considerare per l'allevamento in un particolare clima o territorio.

Come notato in precedenza, molti problemi associati alla coltura in gabbia sono legati all'alta densità di allevamento. Le abrasioni della pelle possono verificarsi quando il pesce sfrega contro la gabbia o a causa di urti o morsi tra pesci. Le abrasioni combinate con lo stress e gli alti carichi di nutrienti spesso danno l'opportunità di sviluppare malattie; che si diffondono rapidamente ad alte densità (Masser e Woods 2008).

Le gerarchie alimentari sono di solito osservate quando le densità sono troppo basse e portano a un consumo ridotto di mangime e a una crescita rallentata negli animali subordinati (Schwedler ed al. 1989; Lazur 1996).

L'alta densità e gli alti tassi di alimentazione associati possono compromettere la qualità dell'acqua : in particolare, basso ossigeno disciolto, alta ammoniaca e aumento torbidità.

I potenziali effetti di densità troppo basse o troppo alte illustrano la necessità di una ricerca per identificare le densità ottimali per diverse specie e tipi di gabbie; altri problemi comuni associati alla coltura in gabbia includono il fouling della rete.

I nutrienti del mangime e dei rifiuti dei pesci stimolano la crescita di alghe e di molti altri organismi sessili o di tipo bentonico, che si attaccano e colonizzano la gabbia. Il fouling della gabbia riduce il volume e può ridurre fortemente il movimento dell'acqua attraverso la gabbia, compromettendo la qualità dell'acqua, e inducendo stress e malattie.

Le correnti e i detriti alla deriva pongono ulteriori problemi nelle colture in gabbia. Le correnti eccessive causano problemi con gli ormeggi e la deformazione delle strutture delle gabbie (per esempio, collari e reti), perdita di mangime e stress per i pesci. (Beveridge 2004).

I detriti alla deriva (ad esempio, tronchi, piante acquatiche galleggianti, ecc.) possono impedire il movimento dell'acqua, e deformare, danneggiare o distruggere le gabbie. La rimozione vigile di oggetti alla deriva e barriere di deviazione sono spesso impiegate per mediare questo problema.

La genetica può giocare un ruolo significativo nella selezione o nello sviluppo di ceppi di pesci adatti alla coltura in gabbia. La selezione di ceppi di specie che tollerano e prosperano con il confinamento in gabbia e i relativi fattori di stress è fondamentale per il successo dell'allevamento in gabbia (Woods 1994). L'industria del salmone guida altre industrie di allevamento nella selezione di pesci con caratteristiche che prosperano nell'ambiente delle gabbie (Jobling 1995; Gjøen e Bentsen 1997).

Le gabbie possono essere attraenti per altre specie nel corpo idrico come nascondigli, strutture di attacco e come fonti di cibo (Oakes e Pondella 2009).

Questo spesso intimidisce i pesci d'allevamento e riduce la loro attività di alimentazione (Woods 1994). Predatori e spazzini possono tagliare le reti delle gabbie, rilasciando i pesci d'allevamento in natura (Rueggeberg e Booth 1989). L'allevamento in gabbia ha avuto problemi con foche, uccelli piscivori e molte altre specie di pesci, invertebrati (per esempio, calamari), rettili e mammiferi (Chua e Teng 1980; Quick et al. 2004). Danni alle gabbie, problemi di malattie e perdite di pesce possono avere un impatto economico significativo (Nash et al. 2000; Wu<sup>2</sup> rsig e Gailey 2002).

### **3.2 Sistemi semi-chiusi**

All'interno della categoria semi-chiusa le unità di produzione stesse sono in gran parte costruite dall'uomo. I metodi di produzione nei sistemi semi-chiusi includono stagni e raceway.

All'interno delle unità di produzione è possibile aggiungere o rimuovere acqua. C'è più input di gestione in questi sistemi, e i primi passi verso l'integrazione o il miglioramento dei processi naturali sono già presenti.

Nei sistemi semichiusi l'acqua viene presa da una fonte naturale come le piogge, sorgenti, ruscelli o fiumi; viene poi fatta scorrere per gravità o pompata in unità di produzione appositamente progettate e costruite; l'acqua può essere usata una volta e scaricata o costantemente pulita e

riossigenata da processi naturali. Rispetto ai sistemi aperti, i sistemi semi-chiusi hanno diversi vantaggi. Uno è un tasso di produzione molto più alto, fino a 1.000 volte la produttività di un sistema aperto. Questo è dovuto al maggiore controllo e agli input in questi sistemi e al fatto che i loro parametri fisici possono essere massimizzati per una maggiore produttività.

Per esempio, rispetto a un bacino profondo usato per l'allevamento in gabbia, uno stagno di acquacoltura è poco profondo, il che gli permette di riscaldarsi rapidamente grazie all'energia solare. Questo inoltre riduce la possibilità di turnover (variazioni di temperatura), poiché c'è poca stratificazione termica. È anche più facile monitorare i livelli di ossigeno disciolto e aerare se necessario. Mentre la coltura in gabbia a sistema aperto in un grande stagno o serbatoio è normalmente limitata a una produzione massima di circa 2.000 kg/ha, in un sistema semi-chiuso di coltura in stagno la produzione viene aumentata a più di 5.000 kg/ha.

I vantaggi dei sistemi semichiusi rispetto ai sistemi aperti includono un uso più facile ed efficiente di mangimi preparati, il controllo della profondità dell'acqua o la sostituzione dell'acqua, aerazione meccanica pratica e conveniente, controllo più facile del bracconaggio e predazione, l'eliminazione di concorrenti e predatori, l'efficace rilevamento e rettifica di deterioramento della qualità dell'acqua e delle malattie, e un potenziale controllo della temperatura. Tuttavia, ci sono anche aspetti negativi. I costi per la costruzione delle infrastrutture e l'acquisizione dell'attrezzatura possono essere significativi, ci sono più richieste di gestione per il monitoraggio e interventi, gli input di energia e mangime sono più alti, e c'è una maggiore probabilità che si verifichino problemi di qualità dell'acqua. Se si usa acqua di falda, deve provenire da spazi sotterranei non confinati dove è stata strettamente esposta all'aria. Se l'acqua è stata confinata tra gli strati, può avere bassi livelli di ossigeno ed essere super-satura di alcuni gas indesiderati (Saroglia et al, 1994).

### Stagni

Gli stagni possono avere forme e dimensioni differenti, possono essere formati dividendo una parte di fiume o lago con argini e una diga ma bisogna tenere presente possibili fenomeni piovosi che, alzando i livelli dell'acqua, potrebbero distruggere la diga o causare la fuga dei pesci allevati. Per quanto riguarda la produzione d'acquacoltura vengono usati stagni con argini prodotti con metodo scava-riempi.

Usando questo metodo, i grandi stagni (>10 ha) possono essere costruiti con attrezzature di costruzione relativamente piccole. Questi stagni non sono normalmente costruiti a profondità maggiore di 1,5 metri perché:

(1) il costo della costruzione dello stagno è il costo di spostare la terra;

(2) gli stagni poco profondi tendono a rimanere ben mescolati, riducendo la possibilità di perdita del raccolto a causa del ricambio dello stagno.

Gli stagni utilizzati nella produzione di acquacoltura commerciale variano ampiamente in termini di dimensioni. Gli stagni utilizzati nella produzione di gamberi d'acqua dolce negli Stati Uniti sono spesso da 0,1 a 0,2 ettari mentre gli stagni per la produzione del pesce gatto sono spesso di dimensioni  $\geq 8$  ha. Nei primi anni, gli stagni per la produzione del pesce gatto erano a volte costruiti fino a 30 ettari. Negli stagni, la maggior parte del bilancio dell'ossigeno si basa sulla produzione di ossigeno da parte del fitoplancton fotosintetico. In passato questo era il fattore limitante per la produzione in questi sistemi. Senza alimentazione supplementare, la capacità di carico di uno stagno è di circa 500 kg/ha. Con l'alimentazione supplementare questa può essere aumentata a circa 1.500 kg/ha. Nella maggior parte dei sistemi di produzione su scala commerciale l'uomo è intervenuto fornendo un'aerazione meccanica (Boyd 1979).

Con questo cambiamento, i tassi di alimentazione possono essere aumentati a circa 100 kg/ha/giorno e la produzione può essere triplicata fino a più di 4.500/kg/ha. Gli stagni si affidano ancora ai processi naturali per rimuovere i prodotti di scarto. Di nuovo, i rifiuti solidi sono scomposti principalmente da batteri eterotrofi e detritivori sul fondo dello stagno. L'ammoniaca ( $\text{NH}^+4$ ) escreta dai pesci o dai gamberi è direttamente assimilata dalle alghe o convertita in nitrito, meno tossico, ( $\text{NO}_2$ ) da parte dei batteri *Nitrosomonas* e poi in nitrato ( $\text{NO}_3$ ) dai batteri *Nitrobacter*; la forma nitrato può allora essere assimilata dalle alghe.

Negli stagni, una parte significativa del cibo per l'organismo di coltura può anche essere generata internamente. Se questo è il cibo primario per il sistema, si dice che è un sistema di stagno estensivo. Nella maggior parte dei sistemi estensivi o a basso input, questi nutrienti sono forniti sotto forma di sottoprodotti agricoli, o di rifiuti animali (o umani). Questo è noto come fertilizzazione organica. Se i nutrienti necessari sono forniti nella loro forma puramente chimica (spesso derivata da prodotti petrolchimici) sono noti come fertilizzanti inorganici.

Anche in questo caso, ci sono vantaggi e svantaggi per ciascuno. I lati positivi dei fertilizzanti organici includono i costi bassi, il lento rilascio di sostanze nutritive, e gli aspetti di sostenibilità del riutilizzo. Gli aspetti negativi includono la necessità di maneggiare materiali alla rinfusa e a volte materiali umidi (e pesanti) per piccole quantità di nutrienti. Per essere resi disponibili al fitoplancton e alla rete alimentare, questi materiali devono prima essere decomposti dai microbi, il che può essere abbastanza lento ed è un processo che consuma ossigeno. Questi prodotti possono anche deteriorare direttamente la qualità dell'acqua (per esempio, producendo ammoniaca) se applicati male. I fertilizzanti inorganici hanno l'aspetto positivo di agire rapidamente, senza deteriorare la qualità dell'acqua attraverso l'aggiunta di rifiuti azotati. Tuttavia, i fertilizzanti

inorganici possono essere più costosi e possono effettivamente lavorare "troppo bene" se applicati male. Un leggero eccesso di applicazione di fosforo può causare una rapida fioritura di fitoplancton, che può morire altrettanto rapidamente. Questo può provocare un impoverimento di ossigeno mentre il fitoplancton si decompone. (Boyd,1990)

### Raceway

Le canalizzazioni o raceway (Fig.7) sono fondamentalmente grandi trogoli artificiali in terra o cemento in cui l'acqua vi scorre dentro. Le fonti d'acqua sono di solito acque sotterranee che arrivano in superficie sotto forma di sorgenti o di acqua superficiale dallo scioglimento della neve o dalla pioggia da altitudini più elevate. L'acqua può spesso essere riutilizzata più volte, poiché scorre attraverso più canali in serie. Gli input sono sotto forma di mangimi di alta qualità, semplice aerazione tra i canali, pulizia delle corsie. La produzione in raceway è molto intensiva in termini di utilizzo del suolo ; su una base per ettaro, può essere prodotto un eccesso di 300.000 kg di pesce all'anno. Tuttavia questi sistemi richiedono molta acqua; per produrre 1 kg di trote in raceway richiede 98.000 litri d'acqua, rispetto ai 1.250-1.750 litri per produrre un kg di pesce gatto in uno stagno arginato (Fornshell e Hinshaw 2008).



*Fig. 7. Canali a deflusso.*

Proprio a causa di questa richiesta d'acqua estremamente alta (>1.500 Lpm), l'ubicazione delle operazioni commerciali è quasi completamente dettata dalla disponibilità di risorse idriche. Una fonte adatta deve fornire volumi sufficienti di acqua a temperature corrette costantemente durante tutto l'anno. Il tempo di ritenzione è basso quindi la temperatura cambia poco all'interno del sistema. I raceway che usano acqua freatica hanno temperature dell'acqua uguali a quelle dell'acqua freatica della regione, il che è direttamente correlato alla vicinanza dell'equatore. Le eccezioni includono



raceway che utilizzano acque di superficie o acque geotermiche profonde. Infine i rifiuti derivati dalle deiezioni in parte vengono smaltiti con le acque a valle e in parte possono essere depurati in loco tramite sistemi di depurazione.

Rispetto agli stagni i raceway hanno diversi vantaggi. Per unità di spazio la produzione nei sistemi a canali è molto più alta. I raceway offrono anche una maggiore capacità di osservare i pesci, rendendo l'alimentazione potenzialmente più efficiente e i problemi di malattia più facili da individuare e nelle fasi iniziali, se si osservano segni di malattia, i trattamenti delle malattie nei raceway sono più facili da applicare e richiedono una minore quantità di prodotti chimici rispetto ad un numero simile di pesci in uno stagno. I raceway inoltre consentono un più stretto monitoraggio della crescita e della mortalità e migliori stime di inventario.

Gli input di gestione, come la divisione per taglie, sono molto più praticabili, così come la raccolta.

### **3.3 Sistemi chiusi a ricircolo (RAS)**

Agli ingegneri piace dividere sistemi complicati in piccole parti, chiamati processi unitari, che corrispondono a uno specifico processo di trattamento. Un sistema di ricircolo può essere suddiviso in diversi processi unitari individuali che possono corrispondere a sistemi separati o essere collegati insieme in un flusso. Ci sono numerose soluzioni per ogni "operazione unitaria" e sebbene alcune siano più efficienti o più convenienti di altre, non esiste una tecnologia giusta o sbagliata. Alcune funzionano meglio in applicazioni su larga scala, altre su piccola scala. Utilizzando la logica dei diagrammi di flusso nei sistemi a ricircolo l'acqua si muove dalla vasca centrale di piscicoltura e scorre attraverso sistemi che rimuovono i solidi sospesi, rimuovono i solidi fini e disciolti, convertono l'ammoniaca in nitrato, rimuovono l'anidride carbonica e aggiungono ossigeno, e infine, quando richiesto, disinfettano l'acqua prima di restituirla alla vasca di coltura (Fig.8). Il sistema di monitoraggio e controllo supervisiona tutti questi processi e controlla i set della qualità dell'acqua suonando un allarme se si muovono al di fuori di intervalli accettabili. Un programma e un processo di bio-sicurezza devono essere assolutamente sovrapposti all'intero processo aziendale per prevenire perdite dovute all'introduzione di malattie dall'esterno.

In letteratura è possibile trovare una serie di modelli che descrivono il RAS con diversi livelli di complessità; sono disponibili modelli molto complessi per aspetti specifici, come ad esempio l'interazione tra gas solubili e alcalinità (Colt 2013) o la descrizione della comunità microbica (Henze et al 2002).

Modelli più pratici per il bilancio di massa dei RAS sono pubblicati da Sánchez-Romero et al. (2016). Tali modelli forniscono una base per la simulazione dell'accoppiamento tra RAS e HP

(Idroponica) e forniscono informazioni sui flussi di massa escretori e/o sui flussi di nutrienti in funzione del tempo e della posizione.

La materia disciolta più importante nella modellazione dei RAS è l'*azoto ammoniacale totale* (TAN). Oltre al TAN è importante la concentrazione di *ossigeno chimico* (COD) ,*biologico* (BOD) e quella di *ossigeno totale* (TAN) , oltre ai solidi sospesi totali (TSS). Tuttavia, le diverse notazioni presenti nella letteratura scientifica rendono a volte difficile la lettura, la conversione e l'implementazione delle informazioni nei modelli.

I RAS permettono economie di scala (maggiore produzione per unità di superficie e di lavoro rispetto a qualsiasi sistema di acquacoltura), sono sostenibili dal punto di vista ambientali (usano dal 90 al 99% in meno di acqua rispetto ai sistemi convenzionali fornendo un trattamento di gestione dei rifiuti sicuro per l'ambiente) e garantiscono tutto l'anno la produzione di volumi consistenti di prodotto mantenendo un controllo climatico completo sull'ambiente dall'allevamento. Negli ultimi decenni, numerosi progetti di sistemi a ricircolo sono stati proposti e studiati. Molti di questi sistemi sono stati progettati usando l'ingegneria tradizionale del trattamento delle acque reflue o tramite approcci a tentativi ed errori. Recentemente, l'ingegneria in questo campo è cresciuta e i sistemi sono stati progettati per le esigenze del sistema acquatico/biologico tramite trattamenti dell'acqua (rimozione di solidi e anidride carbonica, ammoniaca convertita in nitrato e ossigeno aggiunto) che viene rimessa in circolo (Timmons e Ebeling 2010).

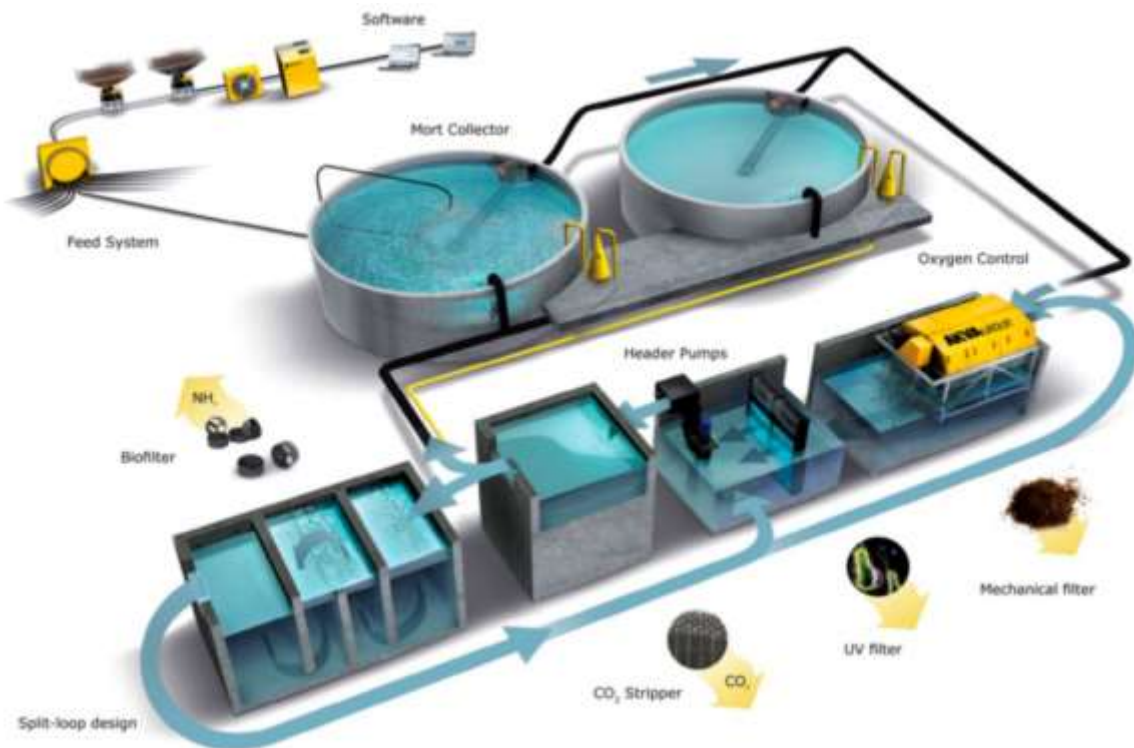
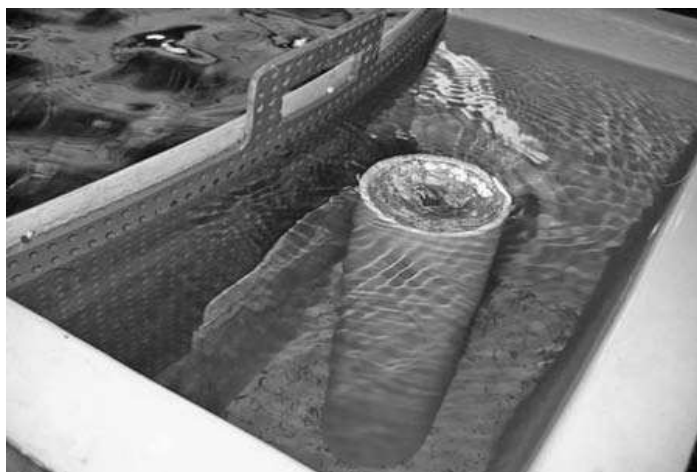


Fig. 8. Disposizione ottimale dei componenti del sistema a ricircolo

### Sistema a doppio carico Cornell

Nel sistema a doppio carico Cornell il sistema di coltura stesso funge da separatore a vortice (effetto "tazza da tè") che rimuove la maggior parte dei solidi sedimentabili dallo scarico centrale. Questo tipo di progettazione è applicabile a vasche rotonde ed è un sistema molto efficace e rapido nel rimuovere la maggior parte dei grandi solidi (ad esempio il mangime non consumato o le deiezioni) utilizzando solo una piccola parte del flusso totale (dal 10 al 25%). Questo flusso di rifiuti può essere ulteriormente concentrato utilizzando bacini di decantazione o separatori Cornell aggiuntivi. (Fig.9) La posizione dei due scarichi del serbatoio è posizionata al centro della vasca, si sfrutta così sia l'effetto "tazza da tè" che la forza del flusso complessivo quando drena attraverso il centro del serbatoio.



*Fig. 9. Box di scarico laterale con tubo di livellamento dell'acqua (dal 75 al 90% del flusso di scarico dalla vasca di allevamento).*

Il criterio finale d'applicare nella progettazione dello scarico è l'uscita: deve presentarsi di circa del 10% il diametro del serbatoio. Questo perché se si segue il rapporto  $D/d$  i solidi dovrebbero depositarsi sul fondo entro il 5% del diametro dello scarico centrale per essere rimossi.

L'acqua, scorrendo, viene sottoposta a biofiltrazione (filtro a sfere, a sabbia fluida, con bioreattore a letto mobile o con torre di gocciolamento) in cui batteri autotrofi convertono l'ammoniaca in nitrati. Nei sistemi commerciali con alti livelli di densità ( $>60 \text{ kg/m}^3$ ), viene impiegato un dispositivo per super saturare l'acqua e fornire sufficiente ossigeno. Dov'è richiesta un'acqua di alta qualità viene aggiunto un sistema UV o di Ozono per disinfettare il flusso d'acqua di ricircolo.

I metodi di acquacoltura convenzionali, come i sistemi di stagno all'aperto e i sistemi a rete, non sono sostenibili a lungo termine a causa di significativi problemi ambientali e alla loro incapacità di garantire la sicurezza del prodotto al consumatore. Viceversa, la produzione ittica in door che impiega i RAS è invece sostenibile e garantisce sia la sicurezza che la qualità del pesce prodotta durante tutto l'anno. Con questo metodo si ha il vantaggio di allevare il pesce in un ambiente

controllato con tassi di crescita regolati e programmi di raccolta prevedibili. I RAS conservano calore e acqua attraverso il ricircolo e ricondizionamento mediante filtraggio biologico.

I RAS possono essere programmati per produrre lo stesso volume di pesce settimanalmente, vantaggio in più rispetto alle vasche all'aperto, stagni e catture selvatiche, che sono stagionali e sporadiche nella raccolta. Poiché per questi sistemi l'acqua deve essere pompata, il che implica alti costi di produzione, l'uso dei RAS non è ancora stato impiegato su larga scala ma spesso vengono impiegati per l'accrescimento di giovani salmoni.

### Filtri a mediazione granulare

I solidi sospesi in acquacoltura rappresentano la frazione di solidi totali che non si depositano nella colonna d'acqua in un intervallo di tempo da 30 a 60 minuti; tali rifiuti solidi devono essere rimossi dall'acqua perché implicano una domanda d'ossigeno potenzialmente elevato (aumento del tasso di ammoniaca/azoto nella colonna d'acqua dovuto all'azione di decomposizione delle proteine o dell'urea da parte dei batteri). In acquacoltura per rimuovere tali solidi si usano due tipi di filtri meccanici: filtri a griglia e filtri a granuli espandibili.

Nei filtri a mediazione granulare l'acqua carica di solidi sospesi viene fatta passare attraverso un letto di materiale granulare che intrappola i solidi per sedimentazione. Quando i filtri presentano della sabbia l'acqua viene fatta percolare dall'alto per essere filtrata. In questi filtri l'eccessiva pressione dell'acqua può causare un controlavaggio che porta a un elevato spreco d'acqua e per questo sono da evitare.

I filtri a perline sono i più comuni perché permettono una bassa perdita di carico e richiedono poca acqua per il risciacquo. Sono costituiti da piccole perle di polietilene a bassa densità da 3 a 5 mm che vengono impiegati come mezzo di filtraggio. Le particelle di solidi sospesi vengono catturate all'interno della matrice delle perline che agitando fanno depositare i solidi intrappolati e il biofloc. Lo svantaggio principale di questo tipo di filtro è il grande volume di acqua (comunque inferiore a quello dei filtri a sabbia) richiesto per il risciacquo (Hanson, et al, 2009), un altro tipo di filtri molto utilizzati è quello a microscreen.

I filtri a microscreen rotanti sono disponibili in una varietà di dimensioni e capacità. Hanno numerosi vantaggi, il principale dei quali è che sono facili da installare e utilizzare. Quasi tutti i filtri a microscreen funzionano sul principio dell'intercettazione fisica delle particelle su uno schermo e della loro rimozione per mezzo di uno spruzzo d'acqua. Gli schermi sono intercambiabili e la dimensione delle maglie viene solitamente selezionata in base alle caratteristiche dell'acqua da trattare e i compromessi tra dimensioni, costi e volumi di scarico. Le microscreen sono particolarmente attraenti quando vengono usate per rimuovere i solidi da grandi filtri a flusso.

Inoltre sono di dimensioni compatte e causano minime perdite di carico. Gli svantaggi di questi sistemi sono gli alti costi di manutenzione. I filtri a microscreen agiscono come una forma di setaccio che trattiene le particelle sospese più grandi del filtro a maglia fine.

Le prestazioni del filtro a microscreen (Fig.10) dipendono in gran parte dalla dimensione delle aperture del filtro che influenzano la capacità idraulica del filtro stesso, la frazione di particelle rimosse, il tasso e la concentrazione di produzione di fango-acqua e la frequenza di controlavaggio del filtro che viene generalmente scaricato dal sistema (perdita di acqua che deve essere sostituita).



*Fig. 10. Filtro microscreen rotante e barre spray per la pulizia*

I solidi generati da questi metodi di rimozione possono avere un impatto significativo sull'ambiente se non vengono smaltiti in modo appropriato. In generale, i rifiuti solidi dell'acquacoltura sono trattati come rifiuti agricoli e considerati una fonte di nutrimento non tossico. Diverse opzioni sono utilizzate per lo smaltimento, tra cui l'applicazione agricola sul terreno e il compostaggio. L'applicazione a terra di rifiuti solidi in un campo agricolo è di solito il metodo più economico di smaltimento dei solidi ed è governata da regolamenti che limitano la quantità di agenti patogeni, metalli pesanti, e altri contaminanti, il contenuto di nutrienti, il tipo di suolo e le caratteristiche di assorbimento dei nutrienti da parte delle piante per prevenire lo scolo o la contaminazione delle acque sotterranee.

Una delle tecniche più recenti per contenere i fanghi è l'uso di sacchi geotessili (Fig. 11). Si tratta di sacchi tessili porosi che ricevono il flusso di rifiuti e catturano i solidi mentre permettono all'acqua di defluire per essere recuperata. In molti casi, un polimero o un agente flocculante viene aggiunto all'affluente per migliorare la separazione solidi/liquidi.

L'allume o il cloruro ferrico possono anche essere aggiunti come aiuto alla coagulazione, che aiuta anche a sequestrare il fosforo dissolto. Il compostaggio dei rifiuti solidi, usando batteri termofili, crea un prezioso ammendante per il suolo. I rifiuti in lagune anaerobiche e aerobiche possono essere utilizzati ma richiedono un'attenta progettazione ingegneristica per essere adeguatamente dimensionate e gestite correttamente (Timmons e Ebeling, 2010).



*Fig.11. Contenitore geotessile su letto di ghiaia progettato per catturare l'acqua lisciviata per il riutilizzo.*

L'acquacoltura indoor potrebbe essere applicata per garantire una fonte sicura al 100% di specie marine, libera da tutte le sostanze chimiche e dai metalli pesanti. Con le crescenti preoccupazioni dei consumatori sulla sicurezza alimentare, i produttori di acquacoltura utilizzando RAS hanno un'opportunità senza precedenti per soddisfare le richieste di cibi sani e sicuri. Inoltre, numerose fonti commerciali di attrezzature e forniture sono ora disponibili e sono specificamente progettati e commercializzati per l'acquacoltura. Specie coltivate con successo in sistemi intensivi a ricircolo includono la tilapia, la spigola, il cobia, pompano, barramundi e gamberi marini.

Le operazioni RAS offrono una serie di soluzioni a questi problemi. Poiché si tratta di sistemi che si sviluppano in-lande che sfruttano il ricircolo dell'acqua, il rischio di fuga dei pesci dai RAS è estremamente basso, mentre il 90%-99% dell'acqua viene riciclata.

Possono essere collocati su terreni non adatti ad altri metodi di produzione alimentare, in aree urbane o vicino ai mercati.

Contaminanti, parassiti e malattie possono essere rimossi o trattati efficacemente mediante sterilizzazione dell'acqua riutilizzata e tutti gli scarti possono essere concentrati e trattati o utilizzati come input per altri sistemi di produzione, ad esempio, come fertilizzanti agricoli o generazione di

metano (Verdegem, M.C.J. et al, 2006; Singer et al, 2008; Miller, 2008; Schreier et al, 2009; Martins et al,2010; Zhang et al, 2011; Badiola et al, 2012).

I RAS possono anche essere situati lontano dai corpi idrici, riducendo ulteriormente il rischio di fuoriuscita dei pesci nell'ambiente e consentono di allevare pesci a crescita più rapida, allevati selettivamente o modificati geneticamente, senza la preoccupazione di una potenziale invasione biologica(Klinger et al, 2012). Nonostante questi vantaggi, i sistemi RAS presentano uno svantaggio significativo: l'elevato costo delle infrastrutture, della manodopera, della gestione e dell'energia. Per questo motivo, i RAS sono molto promettenti per la produzione di specie pregiate come i salmonidi, che hanno un'elevata dipendenza da alimenti acquatici ricchi di farina di pesce e olio di pesce e non saranno accessibili per i Paesi in via di sviluppo che si affidano principalmente a pesci di livello trofico inferiore (Timmons, 2010; Ebeling, 2010; Martins et al, 2010).

### **3.4 Acquacoltura biologica**

Dalla metà degli anni ottanta la crisi della pesca e la crescente domanda di mercato hanno determinato un rapido processo di sviluppo, intensificazione e diversificazione delle specie e dei sistemi di produzione, che ha sollevato un dibattito pubblico sugli effetti ambientali dell'acquacoltura (IUCN, 2007). Le specie allevate sono carnivore e sono alimentate con mangimi contenenti proteine e oli di pesce, che consumano circa il 50% della produzione globale di farina di pesce e l'80% di quella di olio di pesce (Tacon e Metian, 2008). Nelle avannotterie sono spesso usati riproduttori e giovani selvatici e il prelievo aumenta la pressione sulle risorse. Le introduzioni di specie esotiche o i rilasci non intenzionali nell'ambiente possono determinare alterazioni genetiche nelle popolazioni naturali, competizione con i selvatici per le risorse trofiche e lo spazio ed eventi di riproduzione e trasferimento di parassiti e patogeni. I reflui degli impianti possono contenere prodotti chimici, residui di farmaci, agenti antifouling e residui di alimento, che, se non gestiti in modo appropriato, possono indurre fenomeni di contaminazione chimica, resistenza antibiotica ed eutrofizzazione.

Si può affermare che gli impianti estensivi di piscicoltura e molluschicoltura e gli impianti intensivi a ricircolo esercitano una pressione a livello ambientale generalmente bassa, mentre gli impianti intensivi aperti, quali le piscicoltura in gabbia e in vasche a flusso continuo possono avere effetti diretti e indiretti sulla qualità dell'ambiente e la biodiversità (Tabella 4).

Le pratiche d'acquacoltura estensiva (vallicoltura, stagnicoltura, molluschicoltura), se ben gestite, rappresentano un esempio di approccio ecocompatibile in acquacoltura (FAO, 2008) e una delle modalità di sviluppo sostenibile dell'acquacoltura (COM, 2009). Nelle aree umide costiere la gestione produttiva ha consentito di preservare e restaurare ambienti, ancorché di carattere

transitorio per loro intrinseca natura, di mantenere le funzioni e la qualità ecologica di questi ecosistemi ricchi di specie vegetali e animali, in particolare uccelli, contribuendo alla conservazione della diversità biologica (Cataudella et al. 2001).

(Tabella 4): Pressioni ambientali generate dai sistemi di acquacoltura con indicazione dei relativi livelli (modificato da Huntington et al., 2006).

Classificazione ecologica		Sistemi aperti			Sistemi semi-aperti			Sistemi chiusi
		Intensivo	Semi-intensivo	Solare	Intensivo	Semi-intensivo	Estensivo	Intensivo
Classificazione tradizionale (tipologia e intensità di produzione)		Molluschicoltura in <i>long lines</i>	Molluschicoltura su pali-fondale	Ranching	Piscicoltura (gabbie)	Piscicoltura (vasca)	Piscicoltura (stagni)	Piscicoltura (lagune, valli) (ricircolo)
<b>Pressioni Ambientali/Categorie</b>								
Sedimentazione	Carico organico	Alto	Basso	Trascurabile	Alto	Trascurabile	Alto	Basso
	Torbidità	Alto	Basso	Trascurabile	Alto	Trascurabile	Alto	Basso
Cambiamenti nei processi geochimici	O <sub>2</sub> disciolto	Alto	Trascurabile	Basso	Alto	Basso	Alto	Basso
	Nutrienti	Alto	Trascurabile	Basso	Alto	Basso	Alto	Basso
Diffusione di specie aliene		Basso	Alto	Basso	Alto	Basso	Alto	Basso
Interazioni con le specie selvatiche		Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Alto	Basso	Alto	Basso
Uso prodotti chimici		Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Alto	Alto	Alto	Alto
Prelievo di forme selvatiche		Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Alto	Trascurabile	Alto	Alto
Controllo dei predatori		Basso	Trascurabile	Alto	Alto	Basso	Alto	Alto
Trasmissione di patogeni		Basso	Basso	Trascurabile	Alto	Alto	Alto	Basso
Prelievo delle risorse della pesca per produzione mangimi		Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Alto	Alto	Alto	Alto

Livello:  Alto  Moderato  Basso  Trascurabile

Negli ambienti costieri intertidali, spesso soggetti ad eutrofizzazione, la molluschicoltura contribuisce ad abbattere il carico trofico e migliorare la qualità dell'acqua, grazie all'elevata capacità filtrante degli organismi allevati. Altre forme di acquacoltura integrata multi trofica si rilevano particolarmente efficienti nel rimuovere nutrienti e mantenere la qualità degli ecosistemi. Queste forme d'acquacoltura garantiscono servizi ecosistemici di diversa natura (de Groot et al., 2010; Marino e Livi, in stampa) quali servizi di fornitura (specie acquatiche allevate); servizi di regolazione (protezione dall'erosione; mitigazione dei rischi naturali in quanto ambienti di lagunaggio e fitodepurazione; assimilazione dei rifiuti e nutrienti da parte dei molluschi); servizi di supporto (conservazione della biodiversità genetica) e servizi culturali (estetico, ricreativo, tradizioni e eredità culturale). Le esperienze di stima dei valori ecosistemici nelle aree gestite a fini d'acquacoltura o dove l'acquacoltura si integra con altre attività sono molto limitate, e non solo in Italia ([www.seacase.org](http://www.seacase.org)). È auspicabile che in un prossimo futuro il valore economico totale dei beni e dei servizi ecosistemici che l'acquacoltura contribuisce a mantenere sia stimato in termini monetari, per facilitare la scelta di strategie sostenibili sotto il profilo economico e ambientale.

Nonostante l'acquacoltura biologica costituisca oggi solo una piccola frazione delle produzioni globali di acquacoltura, con l'approvazione del reg. (EU) 848/218, relativo alla produzione



biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici, si sono aperte prospettive di mercato estremamente interessanti a livello europeo. Questo passaggio ha sancito, in modo irreversibile, anche a livello legislativo, l'importanza dell'acquacoltura biologica, ponendo le basi per uno sviluppo duraturo del settore. Agli esordi dell'acquacoltura biologica gli allevatori europei avevano a disposizione una serie di standard privati genericamente basati su alcuni principi generali quali, ad esempio, la protezione dell'ambiente, l'uso di alimenti appositamente formulati, il rispetto del benessere animale, appropriati trattamenti sanitari e l'esclusione di qualsiasi manipolazione genetica. Un passo avanti essenziale verso l'omogeneizzazione dei diversi standard è stato fatto nel settembre 2005 ad Adelaide, in Australia, quando durante l'Assemblea dell'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) sono stati approvati i Basic Standard per l'acquacoltura biologica. Tuttavia la vera svolta si è avuta con l'entrata in vigore del reg. (CE) 710 del 2009, riguardante la produzione di animali e di alghe marine dell'acquacoltura biologica. Naturalmente la nuova regolamentazione segna l'inizio di un processo evolutivo che porterà, fin dalla prossima fase di revisione, ad un sistema di regolazione per una acquacoltura biologica sempre più rispondente ai principi di base di questo modello produttivo.

Anche l'ampliamento delle basi conoscitive in acquacoltura, soprattutto per quanto concerne il benessere animale, la migliore formulazione delle diete artificiali, la misura corretta degli impatti ambientali, ecc., consentirà di valutare meglio la "qualità dei protocolli produttivi" in riferimento alle produzioni biologiche.

In Italia la Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura del MiPAAF ha promosso ricerche coordinate sulla acquacoltura biologica, proprio per stimolare la ricerca di evidenze scientifiche a supporto di un modello produttivo, che può dare nuove opportunità competitive alle imprese settoriali. Di particolare interesse risulterà la riduzione delle deroghe per quanto riguarda l'origine dei giovanili, la cui produzione biologica apre prospettive molto interessanti per l'applicazione di protocolli produttivi basati sulle basse densità, sull'uso di grandi volumi e su cicli produttivi senza uso di farmaci (Cataudella et al. 2002). Una nuova sfida per produttori che mirano a migliorare le loro capacità produttive proprio per restare competitivi.

Elementi qualificanti il regolamento sono:

- una particolare attenzione alle problematiche ambientali, attraverso la valutazione dell'idoneità dei siti destinati all'acquacoltura biologica e la redazione di piani di monitoraggio;
- l'affermazione del principio che gli animali devono essere allevati con metodo biologico in tutte le fasi della loro vita, anche se alcune deroghe circoscritte sono previste nelle fasi di avvio della produzione biologica;

- il rispetto delle esigenze caratteristiche di ciascuna specie animale. Le pratiche di allevamento, i sistemi di gestione e gli impianti devono rispondere alle esigenze di benessere degli animali;
- l'alimentazione per gli animali d'acquacoltura deve rispondere alle specifiche esigenze nutrizionali. Farine e oli di pesce possono essere utilizzati se provenienti da scarti di lavorazione e, comunque, in un contesto di pesca sostenibile;
- la gestione della salute degli animali deve mirare soprattutto alla prevenzione delle malattie. I trattamenti veterinari vanno considerati come ultima opzione e, comunque, non sono ammessi più di due trattamenti all'anno, con tempi di sospensione doppi rispetto al convenzionale, per specie il cui ciclo di produzione è superiore all'anno;
- materie prime, prodotti per le pulizie e la disinfezione, ecc. sono ammessi solo se inseriti in liste positive, cioè negli elenchi allegati al regolamento medesimo.

L'acquacoltura biologica va considerata una opportunità e non un *competitor* per le produzioni convenzionali, dato che si rivolge ad una tipologia di consumatori molto specifica.

I prodotti conformi al presente disciplinare di produzione sono identificati dal nome “Acquacoltura Sostenibile”, dal logo di seguito riportato e dagli estremi del Regime di Qualità Nazionale:



In etichetta in aggiunta deve essere riportato il marchio aziendale identificativo dell'azienda concessionaria e facoltativamente il Marchio identificativo del Regime di Qualità Nazionale “Zootecnia”.

In aggiunta agli obblighi di legge le imprese aderenti al disciplinare devono in fase di immissione in commercio identificare i prodotti conformi al disciplinare con un sigillo (o fascetta o etichetta) inamovibile e di materiale

ad uso alimentare, riportante il logo/marchio AS identificativo per ogni singolo animale, nel caso di pesci, o ogni singola confezione, nel caso di molluschi.

L'etichetta deve riportare anche l'informazione relativa al Paese di nascita, allevamento, confezionamento. La conformità dei prodotti al disciplinare di produzione è verificata da organismi di controllo indipendenti, abilitati secondo le vigenti norme europee e iscritti nell'Elenco degli Organismi di Controllo qualificati presso il Ministero.

I controlli vengono effettuati sulla base del piano di controllo tipo approvato dal MIPAAFT. In base al nuovo Regolamento (UE) 2018/848 della Commissione, entrato in vigore a gennaio 2021, i prodotti acquaponici non possono essere certificati come biologici nell'Unione Europea.

Considerati i molteplici componenti di un sistema acquaponico ; piante in condizioni idroponiche, il riciclo degli scarti dei pesci e l'allevamento dei pesci in condizioni artificiali, il raggiungimento

della certificazione biologica per i prodotti acquaponici è una questione complessa, dettata da molti parametri. Anche se in teoria e in pratica l'acquaponica soddisfa quasi tutti i principi dell'agricoltura biologica, tranne la necessità di coltivare le colture nel terreno e il divieto di utilizzare sistemi di acquacoltura a ricircolo che impediscono, attualmente, ai prodotti acquaponici di ottenere la certificazione biologica.

## **4 Soluzioni sostenibili per il futuro**

### **4.1 Sistemi di acquacoltura integrata multi-trofica**

Il concetto di acquacoltura integrata multi-trofica (IMTA) mira ad affrontare gli impatti negativi dell'acquacoltura in acqua salata e dolce attraverso un approccio basato sull'ecosistema, in cui specie di diversi livelli trofici utilizzano gli scarti dell'acquacoltura alimentata (ad esempio, pesci e gamberi). Specie detritivore (come policheti o batteri) assorbono i nutrienti in eccesso, come azoto e fosforo, mentre gli organismi filtratori come mitili e alghe assorbono i nutrienti in eccesso (Chopin et al, 2001; Troell et al., 2009; Barrington et al., 2009). Le specie filtratrici i mitili hanno anche dimostrato la loro capacità di consumare parassiti e inattivare agenti patogeni, oltre a depurare in parte l'acqua e l'aria dalle alte concentrazioni di anidride carbonica immagazzinata sotto forma di carbonati nel loro guscio.

Si sta sperimentando anche l'uso di pesci pulitori, che si è rivelato promettente, ad esempio, per la rimozione dei pidocchi dal salmone atlantico (Skar et al., 2007; Molloy et al., 2011; Skiftesvik et al., 2013; Imsland et al., 2014). La messa in coltura di specie di diversi livelli trofici può portare a una maggiore stabilità ambientale attraverso la biomitigazione dei rifiuti dell'acquacoltura e, allo stesso tempo, fornire all'allevatore una stabilità economica grazie alla diversificazione dei prodotti (Troell et al., 2009; Klinger et al., 2012) (Fig.12).

Per l'acquacoltura offshore e per i sistemi non-RAS a terra, il problema dei contaminanti naturali e antropici che si accumulano nelle coltivazioni e/o che hanno un impatto negativo sulla loro salute non può essere risolto con le tecniche di IMTA. Tuttavia, le soluzioni includono la localizzazione delle aziende agricole in aree con bassi livelli di contaminanti presenti in natura e l'uso di mangimi per pesci privi di PCD e diossina (Cole et al, 2009). Il concetto IMTA di per sé non risolve il rischio di fuga dei pesci nei sistemi offshore, tuttavia, questo può essere ridotto attraverso l'uso di materiali più resistenti per le reti e di coperture per le eliche delle imbarcazioni per evitare la lacerazione delle reti.

Come i RAS, i sistemi IMTA a terra isolati dall'ambiente naturale forniranno un metodo più sicuro per mitigare la fuga dei pesci (Naylor et al,2003; Hindar et al,2005).

## Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)

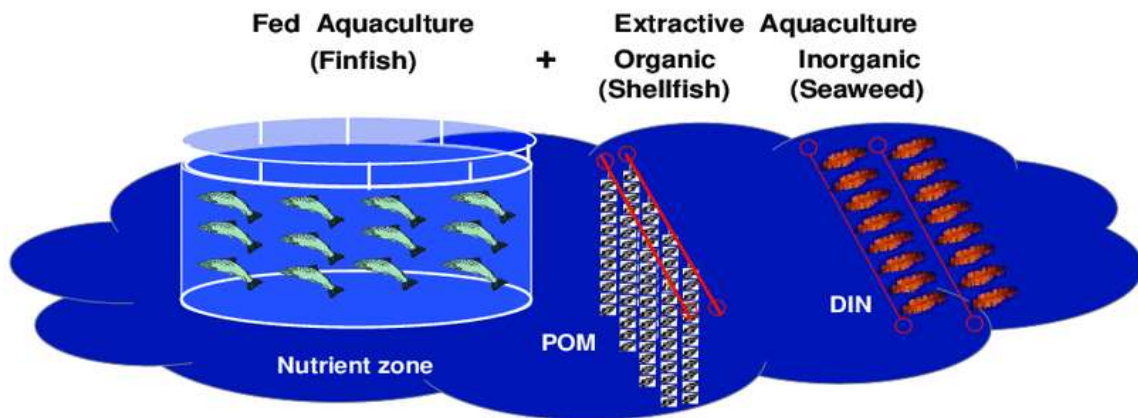


Fig.12. Sistemi multi-trofici di acquacoltura IMTA

### 4.2 Acquaponica

L'acquaponica è un'area emergente dell'acquacoltura ecologica che comprende diverse tecnologie che convergono nell'integrare l'acquacoltura a ricircolo e la coltura idroponica in un'unica unità di produzione. Questa tecnica ha reso possibile la produzione simultanea di pesce e vegetali, con la distribuzione a cascata dei nutrienti e la conservazione dell'acqua tra i suoi concetti fondamentali.

Mentre la produzione di questi alimenti è il risultato materiale del sistema, la complessità dei processi coinvolti offre un ampio margine di innovazione.

La produzione di pesci e piante integrate nell'acquaponica fluttua a seconda delle biodinamiche che influenzano il ricambio dei nutrienti e la qualità dell'acqua in tutta l'unità.

Un funzionamento di successo dell'unità di produzione acquaponica richiede quindi una comprensione approfondita dell'intero sistema che comprende pesci, piante e batteri nitrificanti. Questi componenti biologici differiscono nelle loro esigenze ottimali. L'omeostasi complessiva del sistema composto può essere mantenuta regolando la qualità dell'acqua e i profili dei nutrienti mediante interventi adattativi per ottenere compromessi accettabili. Il bilanciamento dei nutrienti mediante le specie alimentate ed estrattive, alimentazione basata sulla composizione dei mangimi e sui nutrienti escreti previsti sono essenziali per la sostenibilità dell'acquaponica.

L'acquaponica è attualmente un settore piccolo, ma in rapida crescita, che è chiaramente adatto a trarre vantaggio dalle seguenti sfide politiche e socioeconomiche, in cui

- 1) i prodotti acquatici soddisfano le esigenze di sicurezza alimentare e nutrizione
- 2) in tutto il mondo si stanno creando regioni autosufficienti dal punto di vista ittico

3) l'acquacoltura è un settore chiave, ma gli ingredienti globali e la produzione di mangimi è ancora in fase di sviluppo

4) l'innovazione in agricoltura promuove la biodiversità in modo più sostenibile e come parte dell'economia circolare

5) si assiste a una maggiore diffusione di alimenti prodotti localmente.

Queste considerazioni sono in linea con le raccomandazioni dell'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (Le Gouvello et al. 2017), per quanto riguarda la sostenibilità dell'acquacoltura e dei mangimi per pesci, che si è raccomandata di fare sforzi per localizzare l'acquacoltura e l'approccio circolare, e di mettere in atto un programma di controllo di qualità per i nuovi prodotti e i sottoprodotti, nonché la trasformazione di mangimi per pesci locali all'interno delle regioni.

Lo sviluppo sostenibile della nutrizione dei pesci in acquacoltura dovrà corrispondere alle sfide che l'acquaponica pone rispetto alla crescente necessità di produrre cibo di alta qualità.

La manipolazione del contenuto di azoto, fosforo e il contenuto minerale delle diete per pesci utilizzate in acquaponica è un modo per influenzare i tassi di accumulo dei nutrienti, riducendo così la necessità di un'integrazione artificiale ed esterna di nutrienti; infatti, gli scarti di pesce e di mangime forniscono la maggior parte dei nutrienti richiesti dalle piante (Rakocy et al, 2004).

I rifiuti solidi di pesce nei sistemi acquaponici perdono circa la metà dei nutrienti disponibili, in particolare il fosforo, che teoricamente potrebbero essere utilizzati per la produzione di biomassa vegetale (Delaide et al. 2017; Goddek et al. 2018). Mentre l'obiettivo della sostenibilità nell'alimentazione dei pesci in acquacoltura in futuro sarà raggiunto utilizzando diete su misura.

L'aumento della sostenibilità deriverà in parte da una minore dipendenza dalla farina di pesce (FM) e dall'olio di pesce (FO) e da nuovi ingredienti naturali grezzi ad alto contenuto energetico e a bassa impronta di carbonio (Tacon e Metian 2015).

Tuttavia, le prestazioni dei pesci, la salute e la qualità del prodotto finale possono essere alterati quando si sostituisce la FM con ingredienti alternativi. Pertanto, la ricerca sulla nutrizione dei pesci si concentra sull'uso efficiente e sulla trasformazione dei componenti della dieta per fornire i necessari nutrienti essenziali che massimizzeranno la crescita e di ottenere un'acquacoltura sostenibile e resiliente.

Finora, l'acquaponica come "allevamento di acquacoltura su piccola scala" potrebbe fornire esempi per l'implementazione della bio-economia e della produzione su scala locale, promuovendo in tal modo modalità di utilizzo di prodotti e sottoprodotti provenienti da materie organiche non utilizzabili per altri scopi, ad esempio insetti e vermi d'allevamento, macro e microalghe, idrolizzati di pesce e sottoprodotti, nuove piante prodotte in agro-ecologia e bioattivi o micronutrienti prodotti

localmente, riducendo al tempo stesso l'impronta ambientale con la produzione di alimenti di qualità (pesce e piante) e l'avvicinamento alla produzione di rifiuti zero.

Inoltre, l'acquaponica fornisce un buon esempio per promuovere un modo multidisciplinare di apprendimento sulla produzione sostenibile e sulla valorizzazione delle risorse biologiche, come ad esempio il "Progetto Islandap" (INTERREG V-A MAC 2014 - 2020) (Fig. 13).

### Aquaponic Feed Development and the Circular Bioeconomy

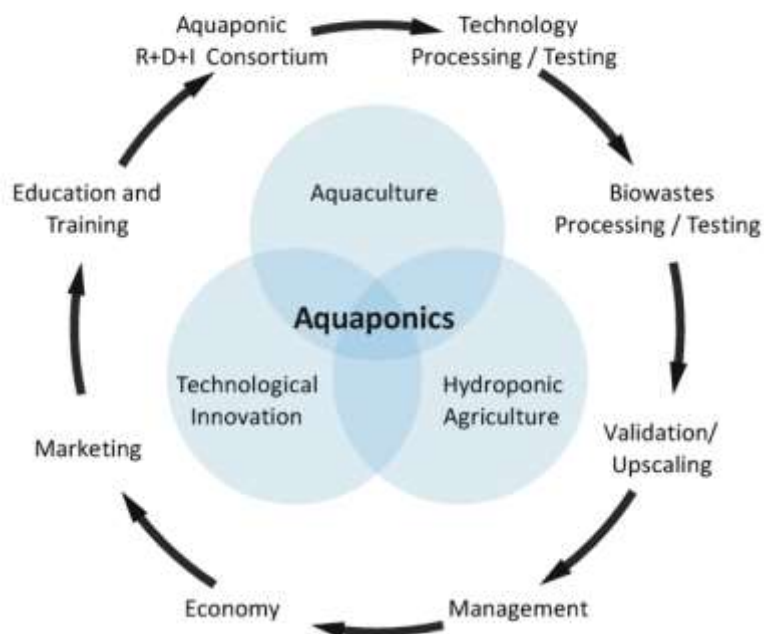


Fig. 13. Rappresentazione schematica di un approccio multidisciplinare per la valorizzazione locale di bioprodotto per le diete acquaponiche. (Basato su "R+S+I verso lo sviluppo dell'acquaponica nelle isole ultraperiferiche e l'economia circolare"; progetto ISLANDAP, Interreg MAC/1.1a/2072014-2019)

Merita di essere sottolineato il fatto che, con così tante variabili nel sistema, c'è ovviamente un ampio spazio per la diversificazione e innovazione per migliorare l'efficienza e la sostenibilità della produzione.

Le regioni soggette a stress idrico o in cui la conservazione dell'acqua è una priorità, trarranno particolare beneficio dall'acquaponica.

Thorarinsdottir (2015) ha individuato dieci unità acquaponiche pilota in Europa, circa metà delle quali si trovava nella fase di allestimento di sistemi su scala ancora piuttosto piccola per la produzione commerciale. Villarroel et al. (2016) hanno stimato che il numero di imprese commerciali di acquaponica in Europa comprende circa 20 aziende.

Attualmente, Villarroel (2017) identifica 52 organizzazioni di ricerca (università, scuole professionali, istituti di ricerca) e 45 imprese commerciali in Europa.

Solo poche di queste, tuttavia, vendono prodotti acquaponici e potrebbero essere considerate come un'azienda agricola acquaponica. Nel 2016, come spin-off del progetto COST FA1305, è stata fondata l'Associazione delle aziende acquaponiche commerciali (ACAC 2018), attualmente coinvolge 25 aziende di tutta Europa, di cui solo un terzo circa si concentra sulla produzione alimentare. Le altre offrono soprattutto servizi legati all'acquaponica come ingegneria e consulenza (Thorarinsdottir 2015). Nell'arco di tempo dell'azione COST (2014-2018), alcune organizzazioni hanno avviato e testato i loro primi tentativi di commercializzazione di produzione alimentare commerciale con l'obiettivo di fare della vendita di prodotti il loro reddito principale.

Un fattore da tenere in considerazione nell'attuazione dei metodi acquaponici è la possibile presenza di malattie, non solo nei pesci ma anche nelle piante coltivate. Tra le diverse malattie delle piante che si verificano in acquaponica, gli agenti patogeni del suolo, come *Fusarium spp.*, *Phytophthora spp.* che appartengono agli *Oomycetes pseudo-fungi* richiedono particolare attenzione a causa della loro forma mobile di dispersione, le cosiddette zoospore che possono muoversi liberamente e attivamente nell'acqua liquida. In acquaponica accoppiata, i metodi curativi sono ancora limitati a causa della possibile tossicità dei pesticidi e degli agenti chimici per i pesci e i batteri benefici (ad esempio i batteri nitrificanti del biofiltro).

Inoltre, lo sviluppo di agenti di biocontrollo per l'acquaponica è ancora agli inizi. Di conseguenza, le modalità di controllo dell'infezione iniziale e della progressione di una malattia si basano principalmente su azioni preventive e trattamenti fisici dell'acqua.

Tuttavia, l'azione soppressiva potrebbe avvenire in ambiente acquaponico, considerando i recenti lavori e l'attività soppressiva già evidenziata in idroponica. Inoltre, l'acqua dell'acquaponica contiene materia organica che potrebbe favorire l'insediamento e la crescita di batteri eterotrofi nel sistema o addirittura migliorare direttamente la crescita e la vitalità delle piante. Per quanto riguarda l'idroponia (cioè, l'uso di fertilizzanti organici e di substrati organici per le piante), questi batteri potrebbero agire come agenti antagonisti o come co-aiuto nella difesa delle piante per proteggerle dalle malattie. In futuro, la ricerca sulla capacità di soppressione delle malattie da parte del biotopo acquaponico deve essere incrementata, nonché l'isolamento, la caratterizzazione e la formulazione di antagonisti microbici di patogeni vegetali ( Stouvenakers , Massart , Jijakli, Dapprich , 2019).

Sirakov et al. (2016) hanno analizzato batteri antagonisti contro *Pythium ultimum* isolati da un sistema acquaponico. Tra i 964 isolati analizzati, 86 hanno mostrato un forte effetto inibitorio su *Pythium ultimum* in vitro. Ulteriori ricerche devono essere fatte per identificare tassonomicamente questi batteri e valutarne il potenziale in condizioni in vivo. Gli autori ipotizzano che molti di questi isolati appartengano al genere *Pseudomonas*.

Schmautz et al. (2017) sono giunti alla stessa conclusione identificando *Pseudomonas spp.* nella rizosfera della lattuga. Le specie antagoniste del genere *Pseudomonas* sono state in grado di controllare i patogeni delle piante in ambienti naturali (ad esempio, in terreni soppressivi), ma questa azione è influenzata anche dalle condizioni ambientali.

Possono proteggere le piante dai patogeni sia in modo attivo che passivo, stimolando una risposta di difesa della pianta e svolgendo un ruolo di promozione della crescita, competere con i patogeni per lo spazio e le sostanze nutritive (ad esempio, competizione per il ferro attraverso il rilascio di siderofori chelanti il ferro), e/o infine producendo antibiotici o metaboliti antifungini come i biosurfattanti (Arras e Arru 1997; Ganeshan e Kumar 2005; Haas e Défago 2005; Beneduzi et al. 2012; Narayanasamy 2013).

Sebbene Gravel et al. (2015) non abbiano identificato i microrganismi, riportano che gli effluenti ittici hanno la capacità di stimolare la crescita delle piante, di diminuire la crescita micellare di *Pythium ultimum* e *Pythium oxysporum* in vitro e riducono la colonizzazione delle radici di pomodoro da parte di questi microrganismi.

Questo capitolo si propone di fornire un primo resoconto dei patogeni vegetali presenti in acquaponica, passando in rassegna i metodi attuali e le possibilità future di controllarli. Ogni strategia presenta vantaggi e svantaggi e deve essere studiata a fondo per adattarsi a ogni caso.

Tuttavia, al momento, i metodi curativi nei sistemi acquaponici accoppiati sono ancora limitati e occorre trovare nuove prospettive di controllo. Fortunatamente, la soppressione in termini di sistemi acquaponici potrebbe essere presa in considerazione, come già osservato in idroponica (ad esempio nei substrati vegetali, nell'acqua e nei filtri lenti). Inoltre, la presenza di sostanza organica nel sistema è un fattore incoraggiante se confrontato con i sistemi di coltura senza suolo che fanno uso di fertilizzanti organici e substrati organici per piante.

Per il futuro, sembra importante indagare su questa azione soppressiva seguita da identificazione e caratterizzazione dei microbi o dei consorzi microbici responsabili.

Sulla base dei risultati, si potrebbero ipotizzare diverse strategie per migliorare la capacità delle piante di resistere ai patogeni. La prima è il controllo biologico mediante conservazione, ovvero favorire i microrganismi benefici manipolando e gestendo la composizione dell'acqua (ad esempio, il rapporto C/N, i nutrienti e i gas) e i parametri (ad esempio, il pH e la temperatura).

La gestione dei batteri autotrofi ed eterotrofi è anche di fondamentale importanza per sostenere una buona nitrificazione e mantenere sani i pesci.

La seconda strategia è il controllo biologico aumentato (BCA) attraverso il rilascio aggiuntivo di microrganismi benefici già presenti in gran numero nel sistema (metodo inondativo) o in numero ridotto ma ripetuto nel tempo (metodo di inoculazione).



La terza strategia è l'importazione, cioè l'introduzione nel sistema di un nuovo microrganismo normalmente non presente.

In questo caso, è essenziale la scelta di un microrganismo adatto e sicuro per l'ambiente acquaponico. Per le due ultime strategie, il sito di inoculazione nel sistema deve essere considerato in base all'obiettivo che si vuole raggiungere.

I siti in cui l'attività microbica potrebbe essere potenziata sono l'acqua di ricircolo, la rizosfera (inclusi i substrati vegetali), il biofiltro (come nei filtri a sabbia lenta in cui l'aggiunta di BCA è già stata sperimentata) e la fillosfera (cioè, la parte aerea della pianta).

Qualunque sia la strategia, l'obiettivo finale dovrebbe essere quello di condurre le comunità microbiche per fornire un ambiente microbico stabile ed ecologicamente equilibrato che consenta una buona produzione sia di piante che di pesci.

Per concludere, seguire i requisiti della gestione integrata dei parassiti delle piante (IPM) è una necessità per gestire correttamente il sistema ed evitare lo sviluppo e la diffusione delle malattie delle piante (Bittsanszky et al. 2015; Nemethy et al. 2016). Il principio dell'IPM è quello di applicare pesticidi chimici o altri agenti come ultima risorsa quando si raggiunge il livello di danno economico. Di conseguenza, il controllo degli agenti patogeni dovrà basarsi in primo luogo su metodi fisici e biologici (descritti in precedenza), la loro combinazione e su un'efficace individuazione e monitoraggio della malattia (Parlamento europeo 2009).

Sebbene l'acquaponica d'acqua dolce sia la tecnica acquaponica più ampiamente descritta e praticata, le risorse di acqua dolce per la produzione alimentare (agricoltura e acquacoltura) sono sempre più limitate e la salinità del suolo è in progressivo aumento in molte parti del mondo (Fronte e Galliano, 2016 Turcios e Papenbrock, 2014).

Questo ha portato a un aumento dell'interesse e/o dello spostamento verso fonti d'acqua alternative (ad esempio, acqua salmastra o altamente salmastre o altamente saline) e l'uso di pesci eurialini o d'acqua salata, piante alofite, alghe e glicofite a bassa tolleranza salina (Buhmann et al, 2013; Joesting et al, 2016). L'acquaponica d'acqua salata (SA) è un sistema IMTA a terra che combina la produzione acquicola di pesci (ad esempio, pesci, crostacei, molluschi, ecc.) con la produzione idroponica di piante acquatiche (ad esempio, alghe, alofite, glicofite tolleranti il sale, ecc).

Il termine maraponica (cioè, acquaponica marina) è stato coniato anche per i sistemi SA che utilizzano l'acqua di mare. Questi sono principalmente situati sulla terraferma, in località costiere vicine a una fonte di acqua marina. (Gunning et al., 2016).

Gunning ha dimostrato che *S. europaea* coltivata in un'unità aeroponica con acque reflue dell'allevamento di ostriche è cresciuta con successo a salinità da bassa a moderata (cioè, una miscela di acqua dolce/acqua di mare al 33%-66%) e ha ridotto i livelli di ammoniaca, nitrito,

nitrato e fosfato nelle acque reflue. Il lavoro condotto da Buhmann et al. (2015) sull'uso delle alofite (9 specie diverse) come biofiltro per le acque reflue saline ricche di nutrienti, ha rilevato che l'uso di un sistema di coltura idroponica è più adatto rispetto alla coltura su sabbia o argilla se si presentano condizioni controllate e cicli di nutrienti.

Dopo una sperimentazione di 5 settimane, è stato dimostrato che per una ragionevole produzione di biomassa sono necessari almeno 10 mg/L di nitrati e 0,3 mg/L di fosfato sono sufficienti, ma concentrazioni più elevate favoriscono l'assorbimento di fosfato.

Anche l'aggiunta di ferro in forma chelata è stata necessaria per la crescita di una sana biomassa vegetale, mentre l'aggiunta di manganese è benefica ma non implicitamente necessaria.

Buhmann et al. (2015) hanno riscontrato che tutte le specie testate hanno il potenziale per fungere da biofiltro, sono una fonte di un prezioso coprodotto e hanno un potenziale di integrazione nei sistemi di SA (le specie studiate in questo studio erano: (*T. pannonicum*; *Atriplex portulacoides*; *S.dolichostachya*; *Plantago coronopus*; *Lepidium latifolium*; e *A. halimus*). Poiché molte alofite presentano livelli di crescita ridotti a salinità più elevate, l'integrazione della coltivazione di alghe nella SA è una potenziale soluzione per i sistemi che utilizzano livelli di salinità dell'acqua di mare (ad esempio, circa 35 ppt) (Reimold ed al,1975; Wilson ,2005; Lymbery et al, 2006; Gunning , 2016).

In alternativa, le colture che di solito vengono classificate come glicofite, come il pomodoro comune (*Lycopersicon esculentum*), il pomodoro ciliegino (*Lycopersicon esculentum* var.) e il basilico (*Ocimum basilicum*) possono raggiungere livelli di produzione straordinari fino a 4 g/L di salinità.

Spesso si parla di livelli medio-bassi di tolleranza al sale (da non confondere con le alofite, che sono resistenti alle alte salinità), altre colture che tollerano salinità medio-basse sono rapa, ravanella, lattuga, patata dolce, fava, mais, cavolo, spinaci, asparagi, barbabietole, zucca, broccoli e cetrioli (Dufault et al, 2001; Pantanella ed al, 2015; Fronte et al, 2016).

Dufault et al. (2001) e Dufault e Korkmaz (2000) hanno sperimentato i biosolidi di gamberi (SB) (materia fecale di gamberi e mangime decomposto) come fertilizzante per i broccoli (*Brassica olerica*) e peperoni (*Capsicum annuum*). In entrambe le prove, hanno fertilizzato le colture con solo SB, combinato con il fertilizzante Oscomote (OSM) e hanno scoperto che l'SB non massimizza le rese se usato da solo. Per la prova sui broccoli, il sistema di coltura che ha migliorato la resa ha combinato nove MT di SB/ha con 75 kg di OSM/ha, fornendo un totale combinato di 263,116, 99 e 99 kg/Ha di N, P, K e Na rispettivamente. Per la prova sui peperoni, il sistema colturale che ha migliorato la resa comprendeva i tassi più elevati di SB e OSM, che hanno fornito un totale di 633, 253 e 303 kg/Ha di N, P, K e Na rispettivamente.

In entrambe le prove, tuttavia, si è notato che l'SB contiene un alto livello di sodio e un aumento della concentrazione di sale nel suolo potrebbe sopprimere la crescita di alcune colture, in particolare quelle sensibili al sale (ad esempio, carote, fragole e cipolle).

Per questo motivo, Dufault e Korkmaz (2000) raccomandano una serie di accorgimenti colturali quando si utilizza il SB, per ridurre il rischio di danni da salinità.

L'acquaponica costituisce una sfida importante per la comunicazione, in quanto sistema di produzione alimentare piuttosto sconosciuto, con alti livelli di innovazione e, nella maggior parte dei casi, con metodi tecnologici innovativi. Poiché il consumo di cibo nelle società avanzate è sempre più legato a una qualche forma di naturalità, è lecito attendersi grandi sfide nella comunicazione dei sistemi e dei prodotti acquaponici. Le limitate prove disponibili suggeriscono che questa sfida può essere gestita in determinate condizioni, ma richiede molto tempo, oltre a input finanziari e creativi. Va riconosciuto che i prezzi elevati dei prodotti dell'acquaponica, secondo quanto riferito, comportano un fattore sfavorevole ma che può anche divenire un vanto e portare alla creazione di un nuovo marchio di qualità. Dal momento che la redditività economica dei sistemi acquaponici dipenderà in modo critico dai prezzi raggiungibili, sono necessarie ulteriori ricerche per capire i diversi fattori che determinano la disponibilità dei clienti a pagare per i prodotti acquaponici.

Le decisioni relative all'ubicazione degli impianti di acquaponica sono un fattore determinante per la redditività economica; poiché molti fattori produttivi legati alla produzione acquaponica non sono flessibili in termini di spazio.

Ciò riguarda in particolare il terreno. L'acquaponica, in quanto sistema di produzione efficiente dal punto di vista fondiario può contare su questo vantaggio solo nelle regioni con scarsità di terreno. In confronto, aree rurali con prezzi dei terreni relativamente bassi non possono quindi generare sufficienti incentivi, a meno che non vi siano altri vantaggi specifici del sito, ad esempio, la fornitura di energia da rifiuti da parte di impianti di biogas. Pur essendo in generale efficiente dal punto di vista fondiario, l'acquaponica in contesti urbani è ancora in competizione con risorse fondiarie molto limitate. In mercati funzionali, la terra verrebbe assegnata alle attività con i più alti profitti per unità di terreno ed è molto discutibile che l'acquaponica sia in grado di competere con attività industriali o di servizio molto efficienti in contesti urbani.

Pertanto, l'acquaponica sembra essere adatta solo alle aree urbane che offrono a quest'ultima un vantaggio competitivo rispetto a potenziali attività concorrenti.

Estendendo la definizione di acquaponica e includendo l'agricoltura acquaponica come consigliato da Palm et al. (2018) si potrebbe allineare l'acquaponica molto più vicino alle tradizionali analisi dell'agricoltura ecologica. Questa definizione più ampia di acquaponica si riferisce all'acqua che

viene utilizzata per la fertilizzazione e l'irrigazione dei campi. Con questa interpretazione più ampia dell'acquaponica, diventa possibile produrre alimenti di base in sistemi di produzione acquaponica. Poiché la capacità di assorbimento dei nutrienti dell'area agricola potrebbe essere limitata in alcune regioni, questa definizione pone implicitamente l'acquaponica come un concorrente della produzione suina, bovina e avicola. Poiché quest'ultima utilizza meno risorse rispetto ai suini, bovini e pollame nella produzione finale, questa potrebbe diventare un'opzione valida.

Nelle analisi economiche tradizionali delle aziende agricole, vi è una forte separazione tecnologica e concettuale tra produzione animale e vegetale.

Con una minore interazione tecnologica nell'allevamento acquaponico rispetto all'acquaponica in senso stretto, ci sarà anche una valutazione economica meno complessa, in quanto i due sistemi di produzione ittica e vegetale possono essere modellati separatamente.

Per collegare i sistemi dal punto di vista economico, è necessario determinare i prezzi interni al sistema, ad esempio i prezzi dei nutrienti portati dalla produzione ittica ai campi di produzione vegetale.

Un'altra questione è quella dei prezzi ottenuti per i prodotti finali dell'acquaponica.

Le prove sui prezzi ottenibili da questo tipo di sistemi di produzione sono del tutto assenti, limitando così stime affidabili sulla redditività economica. Con una separazione tra produzione ittica e vegetale, potrebbe essere possibile utilizzare i prezzi dei prodotti dell'acquacoltura convenzionale e i prezzi convenzionali della produzione vegetale.

Questo presuppone che non ci sia un premio di prezzo per l'acquaponica. Per verificare se è davvero così, è necessario effettuare esperimenti sui prezzi combinati con diversi strumenti di comunicazione.

Da un punto di vista della comunicazione, c'è la questione della percezione dell'acquaponica come superiore agli approcci agricoli tradizionali. A prima vista l'acquaponica potrebbe sembrare un allevamento convenzionale, solo che utilizza un tipo diverso di animali. Gli sforzi di comunicazione dovranno concentrarsi sui livelli di efficienza dell'acquacoltura rispetto ad altri tipi di allevamento.

Pubblicizzare i prodotti vegetali provenienti dall'acquaponica come superiori a quelli provenienti dalla produzione vegetale convenzionale potrebbe essere una sfida e richiede ulteriori analisi approfondite. Tuttavia, un vantaggio per quanto riguarda la comunicazione: una maggiore separazione tra la produzione di pesci e di piante nell'acquaponica potrebbe facilitare la certificazione biologica. Va notato che, almeno nel Regno Unito, la certificazione biologica è legata alla coltivazione di prodotti in terra e quindi potrebbe essere necessario individuare un tipo di certificazione diverso e speciale.

Infine, è importante notare che le aziende acquaponiche europee intervistate, anche quelle che hanno abbandonato la coltivazione commerciale dell'acquaponica, rimangono speranzose per il futuro di questo metodo agricolo. Hanno optato per l'acquaponica per il suo potenziale di sostenibilità e vedono ancora questo potenziale. Tuttavia, riconoscono che l'adozione dell'acquaponica è un processo graduale e a lungo termine, che non può essere semplicemente ripetuto in luoghi diversi, ma deve essere adattato all'ambiente locale.

Per l'acquacoltura in terraferma in acqua salata, ci sono diverse opzioni IMTA attualmente in fase di ricerca e sviluppo. Per gli allevamenti situati in aree in cui è disponibile una grande quantità di terreno a basso costo, le zone umide costruite (CW) alofite rappresentano un approccio IMTA efficace dal punto di vista dei costi, che richiede un investimento di capitale moderato e ha un basso consumo energetico e spese di manutenzione (Lin et al., 2005; Sindilariu et al., 2009; Sindilariu e Brinker, et al., 2009).

Numerosi studi hanno dimostrato l'efficacia delle CW alofite nella rimozione di azoto, fosforo e solidi sospesi, fornendo al contempo una coltura che ha numerose applicazioni commerciali (Lin et al., 2005; Kadlec et al., 2009; Lymbery et al., 2009). Tuttavia, le CW alofite richiedono una superficie estesa e non sarebbero attuabili in località dove il prezzo del terreno è elevato. Inoltre, la varietà di colture che è possibile coltivare nelle zone umide costruite è piuttosto limitata (Cardoch et al., 2000; Shpigel et al., 2013).

Questi sistemi sono tipicamente praticati in modo controllato (ad esempio, flussi controllati; situati in serre), sono spesso a ricircolo e hanno un sistema di bio-assistenza organica e/o meccanica offrendo una migliore opportunità per la coltivazione intensiva, il riutilizzo dell'acqua e la riduzione della produzione di acque reflue rispetto ai metodi tradizionali di produzione di colture e pesci.

I miglioramenti della qualità dell'acqua riducono anche il potenziale di insorgenza delle malattie e quindi la necessità di utilizzare antibiotici (Pantanella et al., 2013; Boxman et al., 2015; Fronte et al., 2016). Grazie alla versatilità delle opzioni di configurazione e al basso fabbisogno idrico, le SA possono essere collocate in una varietà di ambienti, da deserti aridi agli insediamenti urbani (Pantanella, 2012) e possono essere utilizzate da un'ampia gamma di gruppi di utenti, quali hobbisti, ONG, educatori e produttori commerciali (Love et al., 2014).

Tuttavia, poiché la SA è un concetto relativamente nuovo, mancano modelli (soprattutto su scala commerciale) su cui basare i progetti e manca personale addestrato o esperto in grado di gestire i sistemi di SA. A differenza dei sistemi d'acqua dolce, esiste anche una selezione limitata di specie commestibili adatte a crescere in acqua salata (Klinger et al., 2012; Boxman et al., 2015).

L'IMTA come concetto è ancora agli albori e sono necessarie numerose attività di ricerca e sviluppo per identificare una combinazione adeguata di specie, nelle giuste proporzioni, che possa funzionare

efficacemente in un sito specifico. Tuttavia, è necessario ripensare la produzione acquicola con una mentalità integrata per affrontare le sfide simultanee della domanda di mangime e di energia, del contenimento dei rifiuti, del controllo degli agenti patogeni e delle malattie, della fuga dei pesci, dei requisiti di terra e di acqua nonché della crescente preferenza dei consumatori per i prodotti alimentari ottenuti in modo sostenibile.

Inoltre, poiché i margini di profitto nell'acquacoltura continuano a ridursi, l'attrattiva dell'utilizzo dei rifiuti come input per altre colture redditizie continuerà a crescere, fino a quando i problemi di sicurezza alimentare e la percezione pubblica di alimenti, prodotti con acqua contenente feci di pesce, non diventeranno fonte di controversie. Per questo motivo, l'acquaponica rimane una delle tecnologie potenzialmente sostenibili del futuro, che non può, ancora, dirsi in grado di competere adeguatamente sul mercato con i suoi concorrenti, ma che continuerà a necessitare di un maggiore sostegno pubblico e la cui adozione è determinata non solo dai vantaggi commerciali, ma molto più dalla determinazione e dalla buona volontà del pubblico.

### **4.3 Mangimi sostenibili per l'acquacoltura**

Nell'allevamento semi-intensivo e intensivo in gabbia, i costi del mangime rappresentano dal 25 al 50% dei costi di produzione totali. I mangimi devono soddisfare i requisiti nutrizionali, essere appetibili e di dimensioni adeguate, e non inquinare l'ambiente al punto da causare conseguenze deleterie.

Come per la maggior parte dei sistemi di allevamento, i pesci in gabbia sono alimentati in base alla dimensione del pesce, alla temperatura dell'acqua, e alla risposta all'alimentazione. Nell'allevamento semi-intensivo in gabbia sono stati utilizzati numerosi tipi di mangimi nelle diete (Lovell, 1989; New et al, 1993; Beveridge, 2004). Tuttavia, lo sviluppo di moderne diete per l'allevamento intensivo non è iniziato fino agli anni '50 e non sono ancora state formulate per molte specie di coltura desiderate. Nell'allevamento di bivalvi in sistemi aperti essenzialmente tutto il cibo è fornito dall'ambiente di coltura. Per i cosiddetti stagni estensivi, gli animali consumano solo alimenti naturali e la produzione è relativamente bassa con una capacità di carico (CC) di circa 150 kg/ha.

Tuttavia, se aggiungiamo fertilizzanti organici o fertilizzanti inorganici, la produttività primaria aumenta. Gli animali dipendono ancora dagli alimenti naturali ma la CC è triplicata a 500 kg/ha. Se integriamo il sistema fertilizzato con grani di cereali per gli animali da consumare direttamente come "mangime supplementare", il CC è aumentato a 2.000 kg/ha (Tidwell et al. 1997).

Se passiamo a diete "complete" di alta qualità (diete che contengono tutti i macro- e micro-nutrienti necessari alla specie per la crescita e la riproduzione), la CC può essere aumentato fino a >5.000

kg/ha. In acquacoltura però c'è un sistema interconnesso in cui tutto deve mantenersi un equilibrio altrimenti si rischia di ridurre la capacità di crescita. Nei sistemi di stagno, una volta superati i 1.500-2.000 kg/ha, la disponibilità di ossigeno diventa limitante e sopra i 4.000-5.000 kg/ha la capacità di processare i prodotti di scarto azotati diventa limitante.

Il "Pesce foraggio" (cioè, pesce di scarso valore commerciale, raramente consumato dall'uomo e che altrimenti verrebbero scartato) e invertebrati sono spesso somministrati ad alcune specie in aree dove le diete formulate sono troppo costose o troppo difficile da ottenere. I problemi comuni associati all'alimentazione con specie foraggio includono disponibilità, idoneità nutrizionale, stoccaggio, qualità stagionale e possibile introduzione di malattie (Beveridge 1984; Tacon 1992; Wu et al. 1994).

L'utilizzo di specie di basso valore nutrizionale e l'alto contenuto di farina di pesce e olio di pesce nelle diete può essere una preoccupazione ed è spesso una critica all'acquacoltura (Tidwell e Allan 2001; Pike e Barlow 2003; Belle e Nash 2008).

La sovralimentazione o la sottoalimentazione può essere problematica in qualsiasi tipo di sistema di coltura e può essere particolarmente impegnativo nelle colture in gabbia. Il mangime può essere rapidamente trasportato fuori dalle gabbie a causa delle correnti o, nel caso di mangimi che affondano, può cadere attraverso la gabbia.

Per queste ragioni i pesci in gabbia sono spesso alimentati a mano, con sistemi automatici a razione fissa, alimentati utilizzando alimentatori a richiesta, o le gabbie possono essere dotate di sistemi interattivi che monitorano l'attività di alimentazione e regolano il tasso di alimentazione per soddisfare l'appetito. Nell'industria dei salmonidi i miglioramenti nella formulazione del mangime, nella produzione e nei sistemi di alimentazione automatizzati hanno notevolmente migliorato l'efficienza dell'alimentazione in modo che i rapporti di conversione del mangime sono diminuiti da circa 2.5:1 negli anni '70 a meno di 1:1 nel 2005 (Grøttum e Beveridge, 2007).

Anche il comportamento dei pesci deve essere considerato e molte specie di pesci hanno preferenze e tempi di alimentazione. I pesci gatto, come molte altre specie, sono crepuscolari (cioè, si alimentano all'alba e al tramonto) e consumano più mangime e crescono più velocemente se si nutrono in condizioni di scarsa illuminazione (Woods 1994).

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 non contengono tutti i principi nutrizionali di una dieta adeguata), a causa delle caratteristiche fisiche, non potrebbero essere distribuiti con le normali

attrezzature automatizzate. L'acqua in cui il pesce vive e il fluido del sangue degli animali sono separati solo da poche cellule. Qualunque cosa ci sia nell'acqua passa attraverso le branchie e nel sangue del pesce molto facilmente. Inoltre, la pelle della maggior parte dei pesci è molto permeabile rendendo l'assorbimento dei composti passivo e l'esclusione selettiva difficile o impossibile. Questo problema è aggravato dal fatto che, attraverso la diffusione, qualsiasi cosa aggiunta a un corpo d'acqua si disperde rapidamente in tutte le parti. Se un composto nocivo entra nell'acqua può diffondersi in tutto il sistema ed essere rapidamente assorbito nel corpo dell'animale d'acquacoltura. Questo è anche un vantaggio quando bisogna somministrare medicinali o altre sostanze per il benessere di tutto l'allevamento ma questo metodo è poco sostenibile per quegli allevamenti in mare o in rete sospesa in bacini naturali perché potrebbe portare a eutrofizzazione delle acque o ad una resistenza agli antibiotici dei batteri presenti. Gestire l'ambiente degli animali è il compito degli acquacoltori. Non solo l'ambiente deve mantenersi per sostenere la vita, ma nel caso dell'acquacoltura deve essere mantenuto in modo tale da sostenere il massimo tasso di crescita, con massima efficienza e un minimo di sprechi.

Le farine di pesce e l'olio di pesce sono generalmente ottenuti da pesci di basso livello trofico (cioè piccoli pesci pelagici). Questi pesci costituiscono una fonte di cibo essenziale per i grandi pesci, mammiferi marini, uccelli marini ed esseri umani (in particolare quelli dei Paesi in via di sviluppo) (Klinger ed altri, 2012; Naylor ed altri, 2009; Kaushik e Troell, 2010; Tacon ed altri, 2010; Alder e Campbell ed al, 2008).

Ciò richiederà ulteriori ricerche e sviluppi di ingredienti alimentari alternativi (ad esempio, alternative vegetali terrestri, macroalghe) e l'ulteriore miglioramento delle FCR dei pesci alimentati (Naylor ed altri, 2000; Tacon, 2008; Hardy, 2010; Bendiksen ed al, 2011; Troell e Naylor ed al, 2014).

La sostituzione della FM, che è una fonte proteica eccellente ma costosa nelle diete dei pesci, non è facile a causa del suo profilo amminoacidico unico, dell'elevata digeribilità dei nutrienti, dell'alta appetibilità, dell'adeguata quantità di micronutrienti, nonché la generale mancanza di fattori anti-nutrizionali (Gatlin et al. 2007).

Molti studi hanno dimostrato che la FM può essere sostituita con successo dalla farina di soia negli alimenti per animali; ma la farina di soia presenta fattori antinutrizionali come gli inibitori della tripsina, agglutinina di soia e saponina, che ne limitano l'uso e le alte percentuali di sostituzione nell'allevamento di pesci carnivori.

Un'elevata sostituzione di FM con farine vegetali nelle diete dei pesci può anche variare le qualità organolettiche nel pesce, con conseguenti alterazioni dei nutrienti nella qualità finale del prodotto (Gatlin et al. 2007). Può anche causare disturbi indesiderati all'ambiente acquatico (Hardy 2010) e



ridurre la crescita dei pesci a causa dei ridotti livelli di aminoacidi essenziali (soprattutto metionina e lisina) e alla ridotta appetibilità (Krogdahl et al. 2010).

Gerile e Pirhonen (2017) hanno osservato che una sostituzione del 100% di FM con farina di glutine di mais ha ridotto significativamente il tasso di crescita della trota iridea ma la sostituzione della FM non ha influito sul consumo di ossigeno o sulla capacità di nuoto.

Alti livelli di materiale vegetale possono anche influire sulla qualità fisica dei pellet e complicare il processo di produzione durante l'estrusione.

La maggior parte delle fonti alternative di origine vegetale per i mangimi per pesci contengono un'ampia varietà di fattori anti-nutrizionali che interferiscono con il metabolismo proteico dei pesci, compromettendone la digestione e l'utilizzo, portando quindi a un aumento del rilascio di azoto nell'ambiente che può ridurre la salute e il benessere dei pesci.

Inoltre, le diete con elevati livelli di acido fitico alterano la digestione del fosforo e delle proteine, determinando un elevato rilascio di N e P nell'ambiente circostante.

L'assunzione e l'appetibilità dei mangimi, la digeribilità e la ritenzione dei nutrienti possono variare a seconda delle specie ittiche e possono modificare la quantità e la composizione degli scarti dei pesci.

Tenendo conto di questi risultati, le formulazioni delle diete per i pesci in acquaponica dovrebbero studiare la "tolleranza" alimentare dei fattori anti-nutrizionali (ad esempio, i fitati) per i diversi ingredienti del mangime e per ogni specie ittica utilizzata in acquaponica e anche gli effetti dell'aggiunta di minerali come Zn e fosfato.

Va inoltre notato che, anche se il materiale vegetale è considerato un'opzione ecologicamente valida per sostituire la FM nei mangimi per pesci, le piante necessitano di irrigazione e quindi possono avere un impatto ecologico sotto forma di impronta idrica ed ecologica (Pahlow et al. 2015) a causa del deflusso dei nutrienti dai campi.

Sottoprodotti di animali terrestri come le proteine animali trasformate di non ruminanti (PAP) derivate da animali d'allevamento monogastrici (ad esempio, pollame, suini) che non sono idonei al consumo umano al momento della macellazione (materiali di categoria 3, regolamento CE 142/2011; regolamento CE56/2013) potrebbero anche sostituire la FM e sostenere l'economia circolare. Hanno un contenuto proteico più elevato, profili amminoacidici più favorevoli rispetto agli ingredienti dei mangimi vegetali e sono privi di fattori antinutrizionali (Hertrampf e Piedad-Pascual 2000). È stato dimostrato che le farine di carne e ossa possono essere una buona fonte di fosforo se incluse nella dieta della tilapia del Nilo (Ashraf et al. 2013), anche se è stata rigorosamente vietata nell'alimentazione dei ruminanti a causa del pericolo di insorgenza dell'encefalopatia spongiforme bovina (mucca pazza).

La sostituzione di FM e FO con altri ingredienti può influire sulla qualità del prodotto che viene venduto ai clienti. Il pesce ha la reputazione di essere un alimento sano, soprattutto grazie al suo elevato contenuto di acidi grassi poli e insaturi. Soprattutto i frutti di mare sono l'unica fonte di EPA (acido eicosapentaenoico) e DHA (acido docosaesaenoico) entrambi acidi grassi omega-3 e nutrienti essenziali per molte funzioni dell'uomo.

Se FM e FO vengono sostituiti con prodotti di origine terrestre, ciò influisce direttamente sulla qualità della carne del pesce, soprattutto la sua composizione in acidi grassi, poiché la proporzione di acidi grassi omega-3 (soprattutto EPA e DHA) diminuirà, mentre la quantità di acidi grassi omega-6 aumenterà insieme all'aumento di materiale vegetale che sostituisce FM e FO (Lazzarotto et al. 2018). Di conseguenza, i benefici per la salute derivanti dal consumo di pesce sono in parte persi, e il prodotto che finisce nel piatto non è necessariamente quello che i consumatori si aspettavano di acquistare. Tuttavia, per ovviare al problema della diminuzione degli acidi grassi omega-3 nel prodotto finale, dovuta alla riduzione degli ingredienti ittici negli alimenti per animali, gli allevatori potrebbero impiegare le cosiddette diete di finissaggio ad alto contenuto di FO durante le fasi finali dell'allevamento per stimolare la produzione di omega-3 (Suomela et al. 2017).

Una nuova interessante opzione per la sostituzione del FO nei mangimi per pesci è la possibilità di ricorrere all'ingegneria genetica, ossia utilizzando piante geneticamente modificate in grado di produrre EPA e DHA,

Ad esempio, l'olio di *Camelina sativa* geneticamente modificata (Fig.13) è stato utilizzato con successo per l'allevamento del salmone, ottenendo una concentrazione molto elevata di EPA e DHA nei pesci (Betancor et al. 2017). L'uso di organismi geneticamente modificati nella produzione di alimenti per l'uomo, tuttavia, è soggetto ad approvazione e potrebbe non essere un'opzione a breve termine.

Un'altra nuova possibilità per sostituire la FM nei mangimi per animali è rappresentata dalle proteine di insetti (Makkar et al. 2014). Questa nuova opzione è diventata possibile nell'UE solo di recente, quando l'UE ha modificato la legislazione, consentendo la presenza di farine di insetti negli alimenti per animali acquatici (UE 2017). Le specie ammesse sono la mosca soldato nera (*Hermetia illucens*), (*Musca domestica*), verme giallo (*Tenebrio molitor*), verme minore (*Alphitobius diaperinus*), il grillo domestico (*Acheta domesticus*), il grillo fasciato (*Grylloides sigillinus*), il (*Grylloides sigillatus*) e grillo di campo (*Gryllus assimilis*). Gli insetti devono essere allevati su determinati substrati consentiti.



Fig. 13. *Camelia Sativa* nome comune della camelina, dell'oro del piacere o del falso lino, noto per i suoi alti livelli di acidi grassi omega-3.

Gli esperimenti di crescita condotti con diverse specie ittiche dimostrano che la sostituzione di FM con farina di larve di mosca soldato nera non compromette necessariamente la crescita e gli altri parametri di produzione (*Grylloides sigillatus*, *Gryllus assimilat*).

D'altra parte, le farine di vermi gialli possono sostituire la FM solo in parte per evitare una diminuzione della crescita (Van Huis e Oonincx 2017).

I principali vantaggi ambientali dell'allevamento di insetti sono che:

1. necessitano di meno terreno e acqua
2. le emissioni di gas a effetto serra sono inferiori e
3. gli insetti hanno un'elevata efficienza di conversione dei mangimi (Henry et al. 2015).

Tuttavia, c'è una continua necessità di ulteriori ricerche per fornire prove su questioni di qualità e sicurezza e per lo screening dei rischi per i pesci, le piante, le persone e la salute. È importante notare che i pesci non sono in grado di sintetizzare diversi nutrienti essenziali per il loro metabolismo e la loro crescita e dipendono dal mangime per questo approvvigionamento, tuttavia, ci sono alcuni gruppi di animali che possono utilizzare diete con carenza di nutrienti, in quanto microrganismi simbiotici che possono fornire questi composti (Douglas 2010).

I pesci possono quindi ottenere il massimo beneficio quando l'apporto microbico dei loro nutrienti essenziali è commisurato alla domanda. Un apporto insufficiente limita la crescita dei pesci, mentre un apporto eccessivo può essere dannoso a causa della necessità di neutralizzare la tossicità causata da composti non essenziali.

La misura in cui la funzione microbica varia in base alle richieste di diverse specie ittiche e quali siano i meccanismi sottostanti sono in gran parte sconosciuti. È importante notare che il microbiota

intestinale di un animale acquatico può, in teoria, svolgere un ruolo essenziale nel fornire i nutrienti necessari e nell'ottenere la sostenibilità nell'allevamento ittico (Kormas et al. 2014; Mente et al. 2016).

Ulteriori ricerche in questo campo aiuteranno a facilitare la selezione di ingredienti da utilizzare nei mangimi per pesci che promuovano la diversità del microbiota intestinale per migliorare la crescita e la salute dei pesci.

La sostituzione di materie prime di origine marina nei mangimi per pesci, che potrebbero essere utilizzati direttamente per l'alimentazione umana dovrebbe ridurre la pressione della pesca e contribuire a preservare la biodiversità. Gli organismi a basso livello trofico, come la mosca soldato nera, che possono servire come ingredienti per mangimi possono essere coltivati su sottoprodotti e scarti di altre pratiche agricole industriali, fornendo pasti di qualità nutrizionale diversa aggiungendo così ulteriori benefici ambientali. Gli sforzi per raggiungere il successo dell'economia circolare e del riciclaggio dei nutrienti organici e inorganici devono essere gestiti con attenzione, poiché composti indesiderati nelle materie prime e nei prodotti ittici potrebbero aumentare i rischi per la salute e il benessere degli animali, le prestazioni di crescita e la sicurezza del prodotto finale per i consumatori. La ricerca e il monitoraggio continuo e il reporting sui contaminanti di animali acquatici d'allevamento in relazione ai limiti massimi negli ingredienti dei mangimi e nelle diete sono essenziali per informare le revisioni e l'introduzione di nuovi regolamenti.

A differenza degli insetti, le microalghe presentano in genere profili di aminoacidi e acidi grassi (compresi EPA e DHA) favorevoli dal punto di vista nutrizionale, ma c'è anche un'ampia variazione tra le specie a questo riguardo.

La sostituzione parziale di FM e FO negli alimenti per animali con alcune microalghe ha dato risultati promettenti (Camacho e Rodríguez et al. 2017; Shah et al. 2018) e in futuro si prevede che l'uso di microalghe in mangimi per l'acquacoltura è destinato ad aumentare (White 2017), anche se il loro uso può essere limitato dal prezzo.

Questo breve riepilogo dei potenziali ingredienti per mangimi indica che esiste un'ampia gamma di possibilità per sostituire almeno in parte FM e FO nei mangimi. In generale, il profilo aminoacidico dell'FM è ottimale per la maggior parte delle specie ittiche e l'FO contiene DHA ed EPA che sono praticamente impossibili da fornire dagli oli terrestri, anche se l'ingegneria genetica potrebbe cambiare la situazione in futuro. Tuttavia, i prodotti OGM devono essere accettati prima dalla legislazione e poi dai clienti.

La crescente necessità globale di trovare fonti proteiche alternative e sostenibili ha promosso la ricerca di ingredienti per mangimi non convenzionali, come gli insetti, e nella nuova lavorazione di biomasse note come i sottoprodotti della pesca e dell'acquacoltura.

Gli insetti e i sottoprodotti della pesca e dell'acquacoltura sono caratterizzati da un adeguato contenuto proteico e la loro composizione varia a seconda dei sistemi di produzione/raccolta e della lavorazione.

Pertanto, possono essere entrambi considerati come promettenti ingredienti alternativi per i mangimi per la piscicoltura e l'allevamento. Oltre alle loro caratteristiche nutrizionali e dietetiche, rappresentano anche un modo per trasformare gli scarti alimentari in preziose materie prime per mangimi. Tuttavia, un prerequisito essenziale per l'uso di questi ingredienti alternativi nell'alimentazione animale è la loro sicurezza. I ricercatori e le autorità devono affrontare questa controversia in modo adeguato per evitare possibili preoccupazioni da parte dell'opinione pubblica su questi materiali e aumentare l'accettazione del loro uso. Tali approcci creeranno nuove opportunità in termini di sviluppo economico e opportunità di lavoro.



## **5. Conclusioni**

L'acquacoltura a ricircolo e l'acquaponica sono due fonti di reddito che nel prossimo futuro si diffonderanno non solo nei paesi sviluppati, ma potranno essere sfruttati anche dai paesi in via di sviluppo per ridurre i costi di produzione e le carenze alimentari presenti.

Per questo motivo è bene investire fondi e risorse sull'innovazione di questi campi ed anche sull'informazione del grande pubblico a riguardo; in modo tale da ridurre la diffidenza, ancora presente, sui prodotti ittici d'allevamento ed anche sui nuovi metodi di alimentazione che potranno essere impiegati.

Se, in futuro, si riuscirà a migliorare anche solo questi due fattori si potrà favorire un'agricoltura più sostenibile e ridurre anche la pesca intensiva.

Per quanto riguarda le nuove tecnologie integrate nel campo ittico si sta procedendo sempre più verso un sistema sostenibile e ad impatto zero, che andrà a favorire non solo la qualità del prodotto e quindi l'esperienza del cliente ma anche a ridurre gli sprechi energetici e di risorse idriche, riducendo i costi di gestione degli impianti produttivi.





## 6. Bibliografia

- Bardach, J.E., Ryther, J.H. & McLarney, W.O. (1972) *Aquaculture: The Farming and Husbandry of Freshwater and Marine Organisms*. Wiley-Interscience, New York.
- Belle, S.M. & Nash, C.E. (2008) Better management practices for marine shrimp aquaculture. In *Environmental Best Management Practices for Aquaculture* (Ed. by C. S. Tucker), pp. 261–330. Blackwell Publishing, Oxford.
- Beveridge, M.C.M. (1984) Cage and pen fish farming: Carrying models and environmental impact. In *FAO Fisheries Technical Paper No. 255*. FAO, Rome.
- Beveridge, M.C.M. & Little, D.C. (2002) The history of aquaculture in traditional societies. In *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution* (Ed. by B.A. Costa-Pierce), pp. 4–29. Blackwell Scientific, Oxford.
- Beveridge, M. (2004) *Cage Aquaculture*, 3rd edition. Blackwell Publishing, Oxford.
- Borgese, E.M. (1980) *Seafarm: The Story of Aquaculture*. H. N. Abrams, New York.
- Boyd, C.E. (1979) *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn.
- Costa-Pierce, B.A. (2002) The *Ahupua'a* aquaculture ecosystems in Hawaii. In *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution* (Ed. by B.A. Costa-Pierce), pp. 30–43. Blackwell Scientific, Oxford.
- Davis, H.S. (1956) *Culture and Diseases of Game Fishes*. University of California Press, Berkeley.
- Diana, J.S. (2009) Aquaculture production and biodiversity conservation. *BioScience* **59**(1):27–38.
- Drews, R.H. (1951) The cultivation of food fish in China and Japan: A study disclosing, contrasting national patterns for rearing fish consistent with the differing cultural histories of China and Japan. Doctoral dissertation, University of Michigan.
- Duarte, S.A., Masser, M.P. & Plumb, J.A. (1993) Seasonal occurrence of diseases in cagereared channel catfish, 1989–1991. *Journal of Aquatic Animal Health* **5**(3):223–9.
- Duarte, C.M. *et al.* (2009) Will the oceans help feed humanity? *BioScience* **59**(11): 967–76.
- Evans, D.H. & Claiborne, J.B. (2008) Osmotic and ionic regulation in fishes. In *Osmotic and Ionic Regulation: Cells and Animals* (Ed. by D.H. Erasus), pp. 295–366. CRC Press, Boca Raton.
- FAO (2006) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2007*. FAO, Rome
- FAO (2009) *State of the World Fisheries and Aquaculture*. FAO, Rome.
- FAO (2010) *State of the World Fisheries and Aquaculture*. FAO, Rome.
- FAO. 2010-2019. Dipartimento della pesca e dell'acquacoltura. Specie acquatiche coltivate. In: Dipartimento FAO per la pesca e l'acquacoltura [in linea]. Roma. Aggiornato il 17 marzo 2017. [Citato il 30/08/19]. [www.fao.org/fishery/culturedspecies/search/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/search/en)
- Fornshell, G. & Hinshaw, J.M. (2008) Better management practices for flow-through systems. In *Environmental Best Management Practices for Aquaculture* (Ed. by C.S. Tucker, & J.A. Hargreaves), pp. 331–88. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Galtsoff, P.S. (1964) ; The American Oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. *Fishery Bulletin*; **170**(1):11–28.
- Gjøen, H.M. & Bentsen, H.B. (1997) Past, present, and future of genetic improvement in salmon aquaculture. *ICES Journal of Marine Sciences, Journal du Conseil* ; **54**(6):1009–14.
- Grøttum, J.A. & Beveridge, M. (2007) A review of cage aquaculture: Northern Europe.

- In *Cage Aquaculture—Regional Reviews and Global Overview* (Ed. by M. Halwart, D. Soto & J.R. Arthur), pp. 126–154. FAO Fisheries Technical Paper No. 498. FAO, Rome.
- Hanson, T.R., Posadas, B., Samocha, T.M., Stokes, A.D., Losordo, T. & Browdy, C.L. (2009) Economic factors critical to the profitability of super-intensive biofloc recirculating production systems for marine shrimp *Litopenaeus vannamei*. In *The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming* (Ed. by C.L. Browdy & D.E. Jory), pp.268–83. World Aquaculture Society, Baton Rouge.
  - Hickling, C.F. (1962) *Fish Culture*. Faber and Faber, London.
  - Hickling, C.F. (1968) *The Farming of Fish*. Pergamon, London.
  - Howell, W.H, Watson, W.H. & Chambers, M.D. (2006) Offshore production of cod, haddock, and halibut. CINEMar/Open Ocean Aquaculture Annual Progress Report for the Period from January 1, 2005, to December 31, 2005. Final Report for NOAA Grant No. NA16RP1718, interim Progress Report for NOAA Grant No. NA04OAR4600155.
  - Jobling, M. (1995) Simple indices for the assessment of the influences of social environment on growth performance, exemplified by studies on Arctic char. *Aquaculture International* **3**(1):60–5.
  - Lazur, A.M. (1996) The effects of periodic grading on production of channel catfish cultured in cages. *Journal of Applied Aquaculture* **6**(4):17–24.
  - Ling, S.W. (1977) *Aquaculture in Southeast Asia: A Historical Overview*. University of Washington Press, Seattle.
  - Lovell, T. (1989) *Nutrition and feeding of fish*. Van Nostrand Reinhold, New York.
  - Lowther, A. (2007) Highlights from the FAO database on aquaculture statistics. *FAO Aquaculture Newsletter* **38**:20–1.
  - Maar, A., Mortimer, M.A.E. & Van der Lingen, I. (1966) *Fish Culture in Central East Africa*. FAO, Rome.
  - Masser, M.P. (1997c) Cage culture: Species suitable for cage culture. *Southern Regional Aquaculture Center No.163*.
  - Masser, M.P. (2004) Cages and in-pond raceways. In *Biology and Culture of Channel Catfish* (Ed. by C.S. Tucker & J.A. Hargreaves), pp. 530–43. Elsevier Science, Amsterdam.
  - Masser, M.P.&Woods, P. (2008) Cage culture problems. *Southern Regional Aquaculture Center No. 165*.
  - Molden, D. (Ed.) (2007) *Water for Food; Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London.
  - Nash, C.E., Iwamoto, R.N. & Mahnken, C.V.W. (2000) Aquaculture risk management and marine mammal interactions on the Pacific Northwest. *Aquaculture* **183**(3–4):307–23.
  - New, M.B., Tacon, A.G.J.&Csavas, I. (Eds) (1993) Farm-Made Aquafeeds. *Proceedings of the FAO/AADCP Regional Expert consultation on Fish-Made Aquafeeds* December 14–18, 1992, Bangkok. FAO Regional Office for Asia and the Pacific/ASEANEEC Aquaculture Development and Coordination Programme (AADCP), Bangkok. Reprinted in 1995 as FAO Fisheries Technical Paper 343. FAO, Rome.
  - Oakes, C.T. & Pondella II, D.J. (2009) The value of a net-cage as a fish aggregating device in southern California. *Journal of the World Aquaculture Society* **40**(1):1–21.
  - Pike, I. H. & Barlow, S. M. (2003) Impact of fish farming on fish stocks. *Fish Farmer Jan–Feb*: 14–6.
  - Pillay, T.V.R. & Kutty, M.N. (2005) *Aquaculture: Principles and Practices*. Blackwell Publishing, Oxford.
  - Rabanal, H.R. (1988) History of aquaculture. FAO, Rome.

- Rice, G., Stommel, M., Chambers, M.D. & Eroshkin, O. (2003) The design, construction, and testing of the University of New Hampshire feed buoy. In *Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality* (Ed. by C.J Bridger & B.A. Costa-Pierce), pp. 197–203. The World Aquaculture Society, Baton Rouge.
- Schmittou, H.R. (1993) *High Density Fish Cultures in Low Volume Cages*. American Soybean Association, Singapore.
- Schwedler, T.E., Tomasso, J.R. & Collier, J.A. (1989) Production characteristics and size variability of channel catfish reared in cages and open ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* **20**:158–61.
- Stickney, R.R. (1979) *Principles of Warmwater Aquaculture*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Stickney, R.R. (1996a) *Aquaculture in the United States: A Historical Survey*. Wiley-Interscience, New York.
- Subasinghe, R.P. (2007) Aquaculture: Status and prospects. *FAO Aquaculture Newsletter* **38**:4–6.
- Subasinghe, R.P. (2007) Aquaculture status and prospects. *FAO Aquaculture Newsletter* **38**:4–7.
- Szűcs, I., Stundi, L. & Varadi, L. (2007) Carp farming in central and eastern Europe and a case study in multifunctional aquaculture. In *Species and System Selection for Sustainable Aquaculture* (Ed. by P. Leung, C-S. Lee & P. O'Bryen), pp. 389–413. Blackwell Publishing, Oxford.
- Tacon, A.G.J. (1992) Nutritional fish pathology. In *Morphological Signs of Nutrient Deficiency and Toxicity in Farmed Fish*. FAO fisheries Technical Paper No 330. FAO, Rome.
- Tidwell, J.H., Coyle, S.D., Webster, C.D., Sedlacek, J.D., Weston, P.A., Knight, W.L., Hill, S.J., D'Abramo, L.R., Daniels, W.H. & Fuller, M.J. (1997) Relative prawn production and benthic macroinvertebrate densities in unfed, organically fertilized and fed pond systems. *Aquaculture* **149**:227–42.
- Tidwell, J.H. & Allan, G.L. (2001) Fish as food: Aquaculture's contribution. *EMBO Reports*. **2**(11):958–63.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T. & Vinci, B.J. (2002) *Recirculating Aquaculture Systems*. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca.
- Timmons, M.B. & Ebeling, J.M. (2010) *Recirculating Aquaculture*, 2nd Edition. Cayuga Aqua Ventures LLC, Ithaca.
- Williams, G.C. (1975) *Sex and Evolution*. Princeton University Press, Princeton.
- Woods, P. (1994) *Comparison of cage cultured commercial strains of channel catfish for survival, growth, feed conversion, and percent marketability*. Master's thesis, Auburn University, Auburn.
- Wu, R.S.S., Lam, K.S., Mackay, D.W., Lau, T.C. & Yam, V. (1994) Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: A case study in the sub-tropical environment. *Marine Environmental Research* **38**:115–45.

#### -L'acquacoltura, Cataudella.S

- AA.VV. (2001) - *Acquacoltura Responsabile*. Cataudella S., Bronzi P. (eds). Unimar-Uniprom, Roma: 683 pp.
- Cataudella S., Mazzola A., Angle G., Boglione C., Crosetti D., Defrancesco E., Galeotti M., Orban E., Rambaldi E., Rampacci M., Russiello M., Ugolini R. (2001) - Verso l'acquacoltura biologica? Consorzio UNIPROM, Roma: 197 pp.
- Cataudella S., Tancioni L., Cannas A. (2001) - L'acquacoltura estensiva. In: Cataudella

- S., Bronzi P. (eds.) *Acquacoltura Responsabile*. Unimar-Uniprom, Roma: 293-308.
- COM (2009) 162 definitivo dell'8/4/2011 - Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio - Costruire un futuro sostenibile per l'acquacoltura - Un nuovo impulso alla strategia per lo sviluppo sostenibile dell'acquacoltura europea.
  - De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemsen L. (2010) - Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7: 260-272.
  - IUCN (2007) - *Guide for the Sustainable Development of Mediterranean Aquaculture. Interaction between Aquaculture and the Environment*. IUCN, Gland, Switzerland and Malaga, Spain: 107 pp
  - M., Corriero A., Ugolini R., De Marzi P., Spanò A., Consiglio A., Ceravolo V., Caggiano M. (2011) - Aquaculture of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus* L. 1758): Increasing morphological knowledge on larvae and juveniles. Comunicazione orale alla conferenza Aquaculture Europe 2011 organizzata dall'E.A.S e W.A.S Rhodes, Grecia, 18-21 Ottobre, 2011.
  - Ravagnan G. (1978) - Vallicoltura moderna. Edagricole, Bologna: 283 pp.
  - Ravagnan G. (1992) - Vallicoltura integrata. Edagricole, Bologna: 502 pp.
  - Reg. (CE) 834/2007 del Consiglio del 28 Giugno 2007, sulla produzione con metodo biologico e sull'etichettatura dei prodotti biologici che abroga il regolamento (CEE) n. 2092/91.
  - Reg. (CE) 710/2009 della Commissione del 5 Agosto 2009, che modifica il regolamento (CE) n.889/2008 recante modalità d'applicazione del Regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio per quanto riguarda l'introduzione di modalità di applicazione relative alla produzione di animali e di alghe marine dell'acquacoltura biologica.
  - Tacon A.G.J., Metian M. (2008) - Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285: 146-158.

#### - Aquaponics Food Production Systems

##### Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future

- Arras G, Arru S (1997) Mechanism of action of some microbial antagonists against fungal pathogens. *Ann Microbiol Enzimol* 47:97–120
- Ashraf S, Rania SM, Ehab REH (2013) Meat and bone meal as a potential source of phosphorus in plant-protein-based diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult Intl* 21:375–385
- Betancor MB, Li K, Sprague M, Bardal T, Sayanova O, Usher S, Han L, Måsøval K, Torrissen O, Napier JA, Tocher DR, Olsen RO (2017) An oil containing EPA and DHA from transgenic *Camelina sativa* to replace marine fish oil in feeds for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): Effects on intestinal transcriptome, histology, tissue fatty acid profiles and plasma biochemistry. *PLoS ONE* 12(4):e0175415.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175415>
- Bittsanszky A, Gyulai G, Junge R, Schmutz Z, Komives T, Has CAR, Otto H (2015) Plant protection in ecocycle-based agricultural systems : aquaponics as an example. In: International Plant Protection Congress (IPPC), Berlin, Germany, pp 2–3.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4458.0321>
- Camacho-Rodríguez J, Macías-Sánchez MD, Cerón-García MC, Alarcón FJ, Molina-Grima E (2017) Microalgae as a potential ingredient for partial fish meal replacement in aquafeeds: nutrient stability under different storage conditions. *J Appl Phycol*.  
<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1281-5>

- Colt JEK (2013) Impact of aeration and alkalinity on the water quality and product quality of transported tilapia—a simulation study. *Aquac Eng*:46–58
- Delaide B, Delhaye G, Dermience M, Gott J, Soyeurt H, Jijakli MH (2017) Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquac Eng* 78:130–139
- Douglas AE (2010) *The symbiotic habit*. Princeton University Press, Princeton
- European Parliament (2009) Directive 2009/128/EC of the European Parliament and the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. October 309, pp 71–86.  
[https://doi.org/10.3000/17252555.L\\_2009.309](https://doi.org/10.3000/17252555.L_2009.309)
- G. Stouvenakers · S. Massart · M. H. Jijakli Integrated and Urban Plant Pathology Laboratory, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgium
- Ganeshan G, Kumar AM (2005) *Pseudomonas fluorescens*, a potential bacterial antagonist to control plant diseases. *J Plant Interact* 1:123–134.  
<https://doi.org/10.1080/17429140600907043>
- Gatlin DM, Barrows FT, Brown P, Dabrowski K, Gaylord TG, Hardy RW, Herman E, Hu GS, Krogdahl A, Nelson R, Rust M, Sealey W, Skonberg D, Souza EJ, Stone D, Wilson R, Wurtele E (2007) Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds; A review. *Aquacult Res* 38:551–579
- Gerile S, Pirhonen J (2017) Replacement of fishmeal with corn gluten meal in feeds for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) does not affect oxygen consumption during forced swimming. *Aquaculture* 479:616–618.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.07.002>
- Goddek S, Delaide BPL, Joyce A, Wuertz S, Jijakli HM, Grosse A, Eding EH, Bläser I, Reuterg M, Keizer LCP, Morgenstern R, Körner O, Verreth J, Keesman KJ (2018) Nutrient mineralization and organic matter reduction performance of RAS-based sludge in sequential UASB-EGSB reactors. *Aquacult Eng* 83:10–19.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.07.003>
- Gravel V, Dorais M, Dey D, Vandenberg G (2015) Fish effluents promote root growth and suppress fungal diseases in tomato transplants. *Can J Plant Sci* 95:427–436
- Haas D, Défago G (2005) Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nat Rev Microbiol* 3:307–319. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1129>
- Hardy RW (2010) Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. Review article. *Aquacult Res* 41:770–776
- Henry M, Gasco L, Piccolo G, Fountoulaki E (2015) Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Anim Feed Sci Technol* 203:1–22
- Henze M, Willi G, Takashi M, Mark L (2002) Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d AND ASM3. IWA Publishing in its Scientific and Technical Report series, UK. ISBN: 1-900222-24-8
- Hertrampf JW, Piedad-Pascual F (2000) *Handbook on ingredients for aquaculture feeds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 624 pp
- Kormas KA, Meziti A, Mente E, Fretzos A (2014) Dietary differences are reflected on the gut prokaryotic community structure of wild and commercially reared sea bream (*Sparus aurata*). *Microbiology open*. <https://doi.org/10.1002/mbo3.202>
- Krogdahl A, Penn M, Thorsen J, Refstie S, Bakke AM (2010) Important anti-nutrients in plant feedstuffs for aquaculture: An update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquacult Res* 41:333–344
- Lazzarotto, V., Médale, F., Larroquet, L. & Corraze, G. (2018). Long-term dietary replacement of fishmeal and fish oil in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*):

Effects on growth, whole body fatty acids and intestinal and hepatic gene expression. PLoS One 13(1) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190730>

- Le Gouvello, Raphaëla et François Simard (eds) (2017). Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture: Réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économique sociaux et environnementaux. Gland, Suisse: UICN, et Paris, France : Comité français de l'UICN. 296 pp
- Makkar HPS, Ankers P (2014) Towards sustainable animal diets: a survey-based study. Anim Feed Sci Technol 198:309–322. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.09.018>
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P (2014) State-of-the-art on use of insects as animal feed. Anim Feed Sci Technol 197:1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Mente E, Gannon AT, Nikouli E, Hammer H, Kormas KA (2016) Gut microbial communities associated with the molting stages of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Aquaculture 463:181–188
- Narayanasamy P (2013) Biological management of diseases of crops: volume 1: characteristics of biological control agents, Biological management of diseases of crops. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6380-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6380-7_1)
- Nemethy S, Bittsanszky A, Schmautz Z, Junge R, Komives T (2016) Protecting plants from pests and diseases in aquaponic systems. In: Ecological footprint in Central Europe. The University College of Tourism and Ecology Press, Sucha Beskidzka, pp 1–8
- P. Dapprich Department of Agriculture, Fachhochschule Südwestfalen University of Applied Sciences, Soest, Germany
- Pagand P, Blancheton JP, Casellas C (2000) A model for predicting the quantities of dissolved inorganic nitrogen released in effluents from a sea bass (*Dicentrarchus labrax*) recirculating water system. Aquac Eng 22(1–2):S137–S153
- Pahlow M, Oel PR, Mekonnen MM, Hoekstra AY (2015) Increasing pressure on freshwater resources due to terrestrial feed ingredients for aquaculture production. Sci Total Environ 536:847–857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.124>
- Palm HW, Knaus U, Appelbaum S, Goddek S, Strauch SM, Vermeulen T, Haïssam Jijakli M, Kotzen B (2018) Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. Aquacult Intl. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>
- Rakocy JE, Shultz RC, Bailey DS, Thoman ES (2004) Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. Acta Hort 648:63–69. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8>
- Sánchez-Romero A, Miranda-Baeza A, Rivas-Vega M (2016) Development of a model to simulate nitrogen dynamics in an integrated shrimp–macroalgae culture system with zero water exchange. J World Aquacult Soc 47(1):129–138
- Schmautz Z, Graber A, Jaenicke S, Goesmann A, Junge R, Smits THM (2017) Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. Arch Microbiol 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00203-016-1334-1>
- Shah MR, Giovanni Antonio Lutz GA, Alam A, Sarker P, Chowdhury MAK, Parsaeimehr A, Liang Y, Daroch M (2018) Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. J Appl Phycol 30:197–213. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1234-z>
- Sirakov I, Lutz M, Graber A, Mathis A, Staykov Y (2016) Potential for combined biocontrol activity against fungal fish and plant pathogens by bacterial isolates from a model aquaponics system. Water 8:1–7. <https://doi.org/10.3390/w8110518>
- Suomela JP, Tarvainen M, Kallio H, Airaksinen S (2017) Fish oil finishing diet maintains optimal n-3 long-chain fatty acid content in European whitefish (*Coregonus lavaretus*).

- Lipids 52:849–855. <https://doi.org/10.1007/s11745-017-4290-x>
- Tacon AGJ, Metian M (2015) Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Rev Fish Sci Aquacult* 23(1):1–10. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
  - Thorarinsdottir RI (2015) Aquaponics guidelines, University of Iceland: Iceland. Available online: [http://skemman.is/en/stream/get/1946/23343/52997/1/Guidelines\\_Aquaponics\\_20151112.pdf](http://skemman.is/en/stream/get/1946/23343/52997/1/Guidelines_Aquaponics_20151112.pdf)
  - Van Huis A, Oonincx DGAB (2017) The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron Sustain Dev* 37:43. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
  - Villarroel (2017) Map. Aquaponics Map (COST FA1305). [https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ll%3D35.35294037658608%2C0.45745135072172616&z%44&mid%41bjUUbCtUfE\\_BCgaAf7AbmxyCpT0](https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ll%3D35.35294037658608%2C0.45745135072172616&z%44&mid%41bjUUbCtUfE_BCgaAf7AbmxyCpT0). Accessed 8 Sep 2018
  - Villarroel M, Junge R, Komives T, König B, Plaza I, Bittsánszky A, Joly A (2016) Survey of Aquaponics in Europe. *Water* 8:468. <https://doi.org/10.3390/w8100468>
  - Weatherley LR, Hill RG, Macmillan KJ (1993) Process modelling of an intensive aquaculture system. *Aquac Eng*:215–230
  - White C (2017) Algae-based aquafeed firms breaking down barriers for fish-free feeds. <https://www.seafoodsource.com/news/aquaculture/algae-based-aquafeed-firms-breaking-down-barriers-for-fish-free-feeds>
  - Wik TEI, Lindén BT, Wramner PI (2009) Integrated dynamic aquaculture and wastewater treatment modelling for recirculating aquaculture systems. *Aquaculture* 287(3/4):361–370
  - Beneduzi A, Ambrosini A, Passaglia LMP (2012) Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genet Mol Biol* 35(4):1044–1051
  - Chua, T.E. e Teng, S.K. (1980) Economic production of estuary grouper, *Epinephelus salmoides* Maxwell, reared in floating cages. *Aquaculture* 20(3):187–228.
  - Editor James H. Tidwell; Aquaculture Production Systems; Kentucky State University Division of Aquaculture Frankfort, Kentucky, USA; 2012
  - Jess´e, G.J. & Casey, A.A. (Undated) Study of the chronological dates in world aquaculture (fish farming) history from 2800 BC.
  - Quick, N.J., Middlemas, S.J.e Armstrong, J.D. (2004) A survey of anti-predator controls at marine salmon farms in Scotland. *Aquaculture* 230:169–80.
  - Rueggeberg, H. e Booth, J. (1989) Interactions between wildlife and salmon farms in British Columbia: Results of a survey. *Technical Report Series 67* (Pacific and Yukon Region, Canadian Wildlife Service).
  - Turmelle, C., Swift, M.R., Celikkol, B., Chambers, M., DeCew, J., Fredriksson.D., Rice, G. & Swanson, K. (2006) Design of a 20-ton Capacity Finfish Aquaculture Feeding Buoy. *Proceedings of the Oceans 2006*, MTS/IEEE Conference. Boston, MA.
  - W`ursig, B. & Gailey, G.A. (2002) Marine mammals and aquaculture: Conflicts and potential resolutions. In *Responsible Marine Aquaculture* (Ed. by R.R. Stickney e J.P. McVey), pp. 45–59. CABI Publishing, New York.
  - FAO, 2018. Sustainable food systems: concept and framework. Brief. Rome, 8 pp. <https://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf>
  - FAO, IFAD and WFP. 2020. Gender transformative approaches for food security, improved nutrition and sustainable agriculture – A compendium of fifteen good practices. Rome, 154 pp. <https://doi.org/10.4060/cb1331en>
  - FAO. 2020a. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action. Rome, 224 pp. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>
  - FAO. 2020b. FAO Policy on Gender Equality 2020–2023. Rome, 28 pp.

- <https://www.fao.org/3/cb1583en/cb1583en.pdf>
- FAO. 2021a. FAO Strategic Framework 2022–31. Rome, 39 pp. <https://www.fao.org/3/cb7099en/cb7099en.pdf>
  - FAO. 2021b. 2021 COFI Declaration for Sustainable Fisheries and Aquaculture. Rome, 16 pp. <https://doi.org/10.4060/cb3767en>
  - FAO (1995) - Codice di condotta per la pesca responsabile, Roma: 41 pp.
  - FAO. 2019g. GIAHS: Globally Important Agricultural Heritage Systems. In: *FAO* [online]. Rome. [Cited 27 December 2019]. [www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/en/](http://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/en/)
  - FAO. 2019h. *Supplementary documentation and analysis towards the preparation of sustainable aquaculture guidelines* [online]. Committee on Fisheries. Tenth Session of the Sub-Committee on Aquaculture, Trondheim, Norway, 23–27 August 2019. COFI:AQ/X/2019/SBD.2. [Cited 27 December 2019].
  - Mialhe, F., Morales, E., Dubuisson-Quellier, S., Vagneron, I., Dabbadie, L. & Little, D.C. 2018. Global standardization and local complexity. A case study of an aquaculture system in Pampanga delta, Philippines. *Aquaculture*, 493: 365–375 [online]. [Cited 27 December 2019]. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.043>
  - United Nations. 2019b. *Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development* [online]. [Cited 27 December 2019]. [https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202019%20refinement\\_Eng.pdf](https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202019%20refinement_Eng.pdf)
  - BOYD, C.E., 1990, Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, pp. 482.
  - FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto 1976, pp. 441-447.
  - FOLKE, C., KAUTSKY, N., TROELL, M., 1994, *The costs of eutrophication from salmon farming: implication for policy*. *J. Environ. Manage*, 40: 173-182.
  - 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 Congresso National de Acuicultura*, Centro de Investigaciones Marinas, Pontevedra, Spagna, pp.765-770.
  - KARLSEN, L.I., 1988, *Havmerdprosyectet. Bridgestone oppdrettmerd*; Fiskeriteknologisk Forskningsinstitutt, Report (U42): 31.
  - LARSEN, O., 1988, *Fiskeoppdrett i apene farvann*; Oral presentation at “Tecknologidagene i Rogaland”, 14-16 giugno 1988, pp. 22.
  - LINDBERG, J.M., 1979, *The Development of a Commercial Pacific Salmon Culture Business*. *Advances in aquaculture*, Pillay T.V.R., Dill Wm. A. Eds.
  - 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.
  - SAROGLIA, M., INGLE, E., 1992, *Tecniche di acquacoltura*. *Edagricole* pp. 290.
  - SVEALV, T., 1988, *Inshore versus offshore farming*; *Aquacultural Engineering*, 7: 279-287.
  - Barrington, K., Chopin, T. & Robinson, S. 2009. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In D. Soto (ed.). *Integrated mariculture: a global review*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529. Rome, FAO. pp. 7–46.
  - Chopin, T.; Buschmann, A.H.; Halling, C.; Troell, M.; Kautsky, N.; Neori, A.; Kraemer, G.P.; Zertuche-González, J.A.; Yarish, C.; Neefus, C. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *J. Phycol.* 2001, 37, 975–986.
  - Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2019. FishBase. World Wide Web electronic publication. [Cited



08/30/19]. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (04/2019).

- WoRMS Editorial Board (2019). World Register of Marine Species. [Cited 08/30/19]. Available from [www.marinespecies.org](http://www.marinespecies.org)
- MarLIN (Marine Life Information Network), 2016. Marine Life Information Network. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom.[Cited 08/30/19]. Available from: [www.marlin.ac.uk](http://www.marlin.ac.uk)
- FAO. 2010-2019. Fisheries and Aquaculture Department. Cultured Aquatic Species. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 17 March 2017. [Cited 08/30/19]. [www.fao.org/fishery/culturedspecies/search/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/search/en)
- FAO General Fisheries Commission for the Mediterranean. Report of the thirty-sixth session. Marrakech, Morocco, 14–19 May 2012. GFCM Report. No. 36. Rome, FAO. 2012. 71 pp.
- Alder, J.; Campbell, B.; Karpouzi, V.; Kaschner, K.; Pauly, D. Forage fish: From ecosystems to markets. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2008, 33, 153–166.
- Badiola, M.; Mendiola, D.; Bostock, J. Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquac. Eng.* 2012, 51, 26–35.
- Bendiksen, E.Å.; Johnsen, C.A.; Olsen, H.J.; Jobling, M. Sustainable aquafeeds: Progress towards reduced reliance upon marine ingredients in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 2011, 314, 132–139.
- Boxman, S.; Main, K.; Nystrom, M.; Ergas, S.J.; Trotz, M.A. Aquaponic System Produces Red Drum, Saltwater Vegetable Species; *Global Aquaculture Advocate*: Portsmouth, NH, USA, 2015; pp. 58–60.
- Buhmann, A.; Papenbrock, J. An economic point of view of secondary compounds in halophytes. *Funct. Plant Biol.* 2013, 40, 952–967.
- Buhmann, A.K.; Waller, U.; Wecker, B.; Papenbrock, J. Optimisation of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agric. Water Manag.* 2015, 149, 102–114.
- Cardoch, L.; Day, J.W.; Rybczyk, J.M.; Kemp, G.P. An economic analysis of using wetlands for treatment of shrimp processing wastewater—A case study in Dulac, LA. *Ecol. Econ.* 2000, 38, 93–101.
- Cole, D.W.; Cole, R.; Gaydos, S.J.; Gray, J.; Hyland, G.; Jacques, M.L.; Powell-Dunford, N.; Sawhney, C.; Au, W.W. Aquaculture: Environmental, toxicological, and health issues. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2009, 212, 369–377.
- Dufault, R.J.; Korkmaz, A. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertiliser in bell pepper production. *Compost Sci. Util.* 2000, 3, 310–319.
- Dufault, R.J.; Korkmaz, A.; Ward, B. Potential of biosolids from shrimp aquaculture as a fertiliser for broccoli production. *Compost Sci. Util.* 2001, 9, 107–114.
- Food Outlook June 2022; Fish and Fishery products, pag 57-62
- Fronte, B.; Galliano, G.; Bibbiani, C. From freshwater to marine aquaponic: New opportunities for marine fish species production. In Proceedings of the 4th Conference with International Participation Conference VIVUS on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition, Naklo, Slovenia, 20–21 April 2016.
- Gunning, D.; Harman, L.; Keily, M.; Nunan, R.; Jones, P.; Horgan, B.; Burnell, G. Designing a marine aquaponics (maraponics) system to model IMTA. In Proceedings of the Aquaculture Europe Conference 2014, San Sebastian, Spain, 14–17 October 2014. Available online: <https://www.was.org/easonline/documents/>
- Gunning, D.; Fernández, T.; Dick, J.; Sprague, M.; Betancor, M.; Burnell, G. Mapping the Production and Recycling of Fatty Acids through Different Trophic Levels in a Marine Aquaponics System (Maraponics). Available online:

<https://www.was.org/EasOnline/Mobile/Paper.aspx?i=6697> (accessed on 13 September 2016).

- Gunning, D. Cultivating *Salicornia europaea* (Marsh Samphire); Irish Sea Fisheries Board: Dublin, Ireland, 2016; pp. 1–92. Available online: <http://www.bim.ie/our-publications/> (accessed on 15 September 2016).
- Hardy, R.W. Utilization of plant proteins in fish diets: Effects of global and supplies of fishmeal. *Aquac. Res.* 2010, 41, 770–776.
- Imsland, A.K.; Reynolds, P.; Eliassen, G.; Hangstad, T.A.; Foss, A.; Vikingstad, E.; Elvegård, T.A. The use of lumpfish (*Cyclopterus lumpus L.*) to control sea lice (*Lepeophtheirus salmonis Krøyer*) infestations in intensively farmed Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). *Aquaculture* 2014, 424–425, 18–23.
- Joesting, H.M.; Blaylock, R.; Biber, P.; Ray, A. The use of marine aquaculture solid waste for nursery of salt marsh plants *Spartina alterniflora* and *Juncus roemerianus*. *Aquac. Rep.* 2016, 3, 108–114.
- Kadlec, R.H.; Knight, R.L. *Treatment Wetlands*, 2nd ed.; CRS Press: Boca Raton, FL, USA, 2009.
- Kaushik, S.; Troell, M. Consumer confusion on seafood’s sustainability. *Aquac. Eur.* 2010, 35, 15–17.
- Klinger, D.; Naylor, R. Searching for solutions in aquaculture: Charting a sustainable course. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2012, 37, 247–276.
- Lin, Y.F.; Jing, S.R.; Lee, D.Y.; Chang, Y.F.; Chen, Y.M.; Shih, K.C. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environ. Pollut.* 2005, 134, 411–421.
- Lymbery, A.J.; Doupe, R.G.; Bennett, T.; Starcevich, M.R. Efficacy of a subsurface-flow wetland using the estuarine sedge *Juncus kraussii* to treat effluent from inland saline aquaculture. *Aquac. Eng.* 2006, 34, 1–7.
- Love, D.C.; Fry, J.P.; Genello, L.; Hill, E.S.; Frederick, J.A.; Li, X.; Semmens, K. An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE* 2014, 9, e102662.
- Maraponics Ireland. Available online: <http://www.maraponics.com/> (accessed on 13 September 2016).
- Martins, C.I.M.; Eding, E.H.; Verdegem, M.C.J.; Heinsbroek, L.T.N.; Schneider, O.; Blancheton, J.P.; Roque d’Orbcastel, E.; Verreth, J.A.J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquac. Eng.* 2010, 43, 83–93.
- MeetingPresentations/AE2014/AE2014\_0681.pdf (accessed on 13 September 2016)
- Miller, D. Using aquaculture as a post-mining land use in West Virginia. *Mine Water Environ.* 2008, 27, 122–126.
- Molloy, S.D.; Pietrak, M.R.; Bouchard, D.A.; Bricknell, I. Ingestion of *Lepeophtheirus salmonis* by the blue mussel *Mytilus edulis*. *Aquaculture* 2011, 311, 61–64.
- Naylor, R.L.; Goldberg, R.J.; Primavera, J.H.; Kautsky, N.; Beveridge, M.C.M.; Clay, J.; Folke, C.; Lubchenco, J.; Mooney, H.; Troell, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 2000, 405, 1017–1024.
- Naylor, R.; Eagle, J.; Smith, W. Salmon aquaculture in the Pacific North-west: A global industry with local impacts. *Environment* 2003, 45, 18–39.
- Naylor, R.; Hindar, K.; Fleming, I.A.; Goldberg, R.; Williams, S.; Volpe, J.; Whoriskey, F.; Eagle, L.; Kelso, D.; Mangel, M. Fugitive salmon: Assessing the risks of escaped fish from net-pen aquaculture. *BioScience* 2005, 55, 427–437.
- Naylor, R.L.; Hardy, R.W.; Bureau, P.D.; Chiu, A.; Elliott, M.; Farrell, A.P.; Forster, I.; Gatlin, D.M.; Goldberg, R.J.; Hua, K.; et al. Feeding aquaculture in an era of finite

- resources. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2009, 106, 15103–15110.
- Pantanella, E. Integrated Marine Aquaculture-Agriculture: Sea Farming out of the Sea; Global Aquaculture Advocate: Portsmouth, NH, USA, 2012; pp. 70–72.
  - Pantanella, E.; Colla, G. Saline aquaponics opportunities for integrated marine aquaculture. In Proceedings of the International Aquaponic Conference: Aquaponics and Global Food Security, University of Wisconsin, Stevens Point, WI, USA, 19–21 June 2013.
  - Pantanella, E.; Bhujel, C.R. Saline Aquaponics—Potential Player in Food, Energy Production; Global Aquaculture Advocate: Portsmouth, NH, USA, 2015; pp. 42–43.
  - Reimold, R.J.; Queen, W.H. Ecology of Halophytes; Academic Press Inc.: New York, NY, USA; London, UK, 1974; 620p.
  - Shpigel, M.; Ben-Ezra, D.; Shauli, L.; Sagi, M.; Ventura, Y.; Samocha, T.; Lee, J.J. Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for Mariculture effluent. Aquaculture 2013, 412–413, 52–63.
  - Sindilariu, P.D.; Reiter, R.; Wedekind, H. Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. Aquat. Living Resour. 2009, 22, 93–103.
  - Sindilariu, P.D.; Brinker, A.; Reiter, R. Factors influencing the efficiency of constructed wetlands used for the treatment of intensive trout farm effluent. Ecol. Eng. 2009, 35, 711–722.
  - Singer, A.; Parnes, S.; Gross, A.; Sagi, A.; Brenner, A. A novel approach to denitrification processes in a zero-discharge recirculating system for small-scale urban aquaculture. Aquac. Eng. 2008, 39, 72–77.
  - Skar, C.K.; Mortensen, S. Fate of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in experimentally challenged blue mussels (*Mytilus edulis*). Dis. Aquat. Org. 2007, 74, 1–6.
  - Skiftesvik, A.B.; Bjelland, R.M.; Durif, C.M.F.; Johansen, I.S.; Browman, H.I. Delousing of Atlantic salmon (*Salmo salar*) by cultured vs. wild ballan wrasse (*Labrus bergylta*). Aquaculture 2013, 402–403, 113–118.
  - Tacon, A.G.J.; Metian, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. Aquaculture 2008, 285, 146–158.
  - Tacon, A.G.J.; Metian, M.; Turchini, G.M.; De Silva, S.S. Responsible aquaculture and trophic level implications to global fish supply. Rev. Fish. Sci. 2010, 18, 94–105.
  - Tal, Y.; Schreier, H.J.; Sowers, K.R.; Stubblefield, J.D.; Place, A.R. Environmentally sustainable land-based marine aquaculture. Aquaculture 2009, 286, 28–35.
  - Timmons, M.B.; Ebeling, J.M. Recirculating Aquaculture; Cayuga Aqua Ventures LLC: Ithaca, NY, USA, 2010; p. 948.
  - Troell, M.; Joyce, A.; Chopin, T.; Neori, A.; Buschmann, A.H.; Fang, J.G. Ecological engineering in aquaculture—Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. Aquaculture 2009, 297, 1–9.
  - Troell, M.; Naylor, R.L.; Metian, M.; Beveridge, M.; Tyedmers, P.H.; Folke, C.; Arrow, K.J.; Barrett, S.; Crépin, A.; Ehrlich, P.R.; et al. Does Aquaculture add resilience to the global food system? Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2014, 111, 13257–13263.
  - Turcios, A.E.; Papenbrock, J. Sustainable treatment of aquaculture effluents—What can we learn for the past for the future? Sustainability 2014, 6, 836–856.
  - Verdegem, M.C.J.; Bosma, R.H.; Verreth, J.A.J. Reducing water use for animal production through aquaculture. Int. J. Water Resour. Dev. 2006, 22, 101–113.
  - Zhang, S.; Li, G.; Wu, H.; Liu, X.; Yao, Y.; Tao, L.; Liu, H. An integrated recirculating system (RAS) for land-based fish farming: The effect on water quality and fish production. Aquac. Eng. 2011, 45, 93–102.

- Wilson, G. Seaweed is the common denominator in exciting saltwater aquaponics. *Aquaponics J.* 2005, 36,12–16.

## SITOGRAFIA

-OSSERVATORIO EUROPEO DEL MERCATO DEI PRODOTTI DELLA PESCA E DELL'ACQUACOLTURA – L'ombrina nell'UE

- <http://www.eumofa.eu/price-structure>
- Italia - <https://www.eumofa.eu/italy>

-Articolo Corriere Della Sera; Viaggio negli allevamenti di pesce : ecco dove nascono spigole e orate «made in Italy» (tra fondi pubblici e dubbi sulla sostenibilità ambientale); di Francesco De Augustinis

<https://www.corriere.it/video-articoli/2021/03/14/viaggio-allevamenti-pesce-ecco-dove-nascono-spigole-orate-made-italy-tra-fondi-pubblici-dubbi-sostenibilita-ambientale/3427bc4a-8346-11eb-98e0-a911bb2fb5b0.shtm>