



# UNIVERSITÀ DI PARMA

Dipartimento di Scienze Medico Veterinarie

Corso di Laurea Magistrale in

Produzioni Animali Innovative e Sostenibili

## **Caratteristiche tecniche e sostenibilità di mangimi innovativi destinati alla trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*)**

Relatore:

Chiar.<sup>mo</sup> Prof.  
Simone Bertini

Laureando:

Leonardo Zanolli

## Anno Accademico 2022-2023

### INDICE

INTRODUZIONE .....	5
1. ACQUACOLTURA .....	6
1.1 Cenni storici.....	6
1.2 L'acquacoltura moderna .....	7
2. TIPOLOGIE DI ALLEVAMENTO .....	8
2.1 Allevamento estensivo .....	9
2.2 Allevamento semi-intensivo.....	10
2.3 Allevamento intensivo.....	11
3. TROTA IRIDEA – <i>Oncorhynchus mykiss</i> .....	13
3.1 Classificazione tassonomica .....	13
3.2 Morfologia.....	14
3.3 Distribuzione .....	15
3.4 Habitat e comportamento .....	16
3.5 Alimentazione naturale.....	17
4. ALLEVAMENTO DELLA SPECIE .....	18
4.1 Allevamento in <i>raceways</i> .....	19
4.2 Allevamento in sistemi a ricircolo "RAS" .....	20
4.3 Parametri dell'acqua di allevamento .....	21
4.4 Riproduzione .....	22
4.5 Fertilizzazione.....	23
5. ALIMENTAZIONE .....	25
5.1 Alimentazione degli avannotti .....	26
5.2 Fase di pre-ingrasso e ingrasso .....	27
5.3 Mangimi con pigmento .....	28
6. MANGIMI .....	29
7. COMPOSIZIONE DEI MANGIMI .....	30
7.1 Farina di pesce.....	31
7.2 Olio di pesce .....	32
8. PROBLEMA SOSTENIBILITA' .....	33
9. <i>PARAMETRO FISH IN – FISH OUT</i> .....	34
10. FONTI PROTEICHE ALTERNATIVE E RISULTATI OTTENUTI.....	35

11.	FARINA DI INSETTI .....	36
11.1	Prova di sostituzione di farina di pesce con farina di <i>Tenebrio molitor</i> nella dieta della trota iridea: valutazione delle <i>performance</i> di crescita .....	37
12.	<i>SINGLE – CELL – PROTEIN</i> .....	40
12.1	Prova di sostituzione della farina di pesce con <i>Single-Cell-Protein</i> batteriche da batteri metanotrofi nell'alimentazione di giovanili di trota iridea: valutazione delle <i>performance</i> di crescita .....	41
13.	PROTEINE ANIMALI TRASFORMATE (PAT) .....	44
13.1	Prova di sostituzione della farina di pesce con farina di sottoprodotti di pollo: valutazione delle <i>performance</i> di crescita della trota iridea. ....	46
14.	DISCUSSIONE .....	48
	SITOGRAFIA .....	49
	BIBLIOGRAFIA .....	50



## **INTRODUZIONE**

La farina di pesce è da sempre considerata come la principale fonte proteica tra gli alimenti destinati all'acquacoltura per i pesci carnivori, erbivori ed onnivori. Questo per il suo contenuto in proteine, minerali, vitamine ed amminoacidi essenziali (Hardy, 2010).

Ad oggi, dopo innumerevoli studi, è stata provata la non sostenibilità della farina di pesce come principale fonte proteica nell'alimentazione delle specie ittiche allevate. Questo per via della scarsità delle risorse ittiche selvatiche utilizzate come materia prima per la produzione della farina, dovuta sia alla pesca eccessiva ma anche per i cambiamenti climatici in corso. Attualmente il parametro utilizzato per valutare la sostenibilità di questa materia prima è il "Fish in-Fish out", dove ad esempio per le trote e salmoni, specie di importante interesse commerciale, è di 5:1; questo significa che per produrre 1 chilo di trote e\o salmoni servono 5 chili di pesce marino selvatico pescato per la produzione di farina di pesce (Tacon & Metian, 2008).

Lo scopo di questa tesi è quello di analizzare l'impatto dell'utilizzo della farina di pesce nella produzione di mangimi per l'acquacoltura e le possibili fonti proteiche alternative per la sostituzione parziale o totale di questa farina.

# 1. ACQUACOLTURA

## 1.1 Cenni storici

La pratica dell'acquacoltura ha origini molto antiche, anche se sul suo inizio si possono formulare solamente delle ipotesi. La più accreditata è quella secondo cui alcuni pesci abbiano occupato dei terreni esondati e successivamente col ritiro delle acque siano rimasti intrappolati in alcune pozze formatesi. Alcuni di questi pesci sono stati pescati immediatamente, mentre altri sono rimasti ed hanno proliferato, insegnando così all'uomo i primi rudimenti di acquacoltura (Avault, 1996). Le prime testimonianze di acquacoltura arrivano dalla Cina, dove le carpe comuni (*Ciprinus carpio*) venivano allevate fin dal 2000-1000 a.c. Il primo testo sull'acquacoltura è attribuito ad una politica cinese dove dichiara che molta della sua ricchezza derivava dai propri stagni dove allevava i pesci (Lucas & Southgate, 2013). Nel nostro paese invece i primi cenni di acquacoltura risalgono all'Impero Romano; con la fine di questo periodo anche l'acquacoltura ha subito un'attenuazione, fino al XII secolo, dove questa attività è ripartita dal centro Europa e soprattutto in Italia. A partire dal XV secolo l'acquacoltura si sviluppò su larga scala nelle lagune dell'Adriatico, dove iniziò la vallicoltura, una tecnica di allevamento del pesce nelle lagune; questa tecnica ha successivamente portato l'Italia nei primi anni '80 del Novecento ad essere leader nel mercato. Solamente 35 anni fa iniziò la pratica dell'acquacoltura intensiva ([www.izsvenezie.it](http://www.izsvenezie.it), 2016).



Figura n°1: Antico allevamento ittico; Fonte: [www.romanoimpero.com](http://www.romanoimpero.com), 2012

## 1.2 L'acquacoltura moderna

Da un'attività che era principalmente su piccola scala, non commerciale e familiare, l'acquacoltura comprende oggi una produzione commerciale e industriale su larga scala di specie di alto valore che vengono commercializzate a livello regionale, nazionale e internazionale. La produzione globale di pesce da acquacoltura è cresciuta rapidamente negli ultimi quarant'anni, contribuendo in maniera significativa all'approvvigionamento mondiale di pesce per il consumo umano. L'acquacoltura rappresenta oggi quasi la metà (45%) del pesce alimentare consumato a livello mondiale. Con la sua continua crescita, si prevede che nel prossimo futuro l'acquacoltura produrrà più pesce per il consumo umano diretto rispetto alla pesca di cattura. A maggior ragione se consideriamo che il pesce risulta un'eccellente fonte proteica alimentare ideale per condurre una dieta sana, in quanto è ricco di sali minerali come (iodio, calcio e fosforo); inoltre è un'ottima fonte di acidi grassi insaturi (omega-3) e fosfolipidi (Subasinghe et al., 2009).

Ad oggi l'acquacoltura nel nostro paese è definita dal decreto legislativo n. 148 del 4 agosto 2008 art. 3 come: *“l'allevamento o la coltura di organismi acquatici mediante l'impiego di tecniche finalizzate ad aumentare, al di là delle capacità naturali dell'ambiente, la resa degli organismi in questione; questi ultimi rimangono di proprietà di una o più persone fisiche o giuridiche durante tutta la fase di allevamento o di coltura, compresa la raccolta”*.



Figura n°2: Gabbie galleggianti *off shore*; Fonte: <https://www.resinextrad.com>, 2005

## **2. TIPOLOGIE DI ALLEVAMENTO**

I metodi di allevamento delle diverse specie ittiche si distinguono in due grandi categorie. Una di tipo rurale, dove le zone di allevamento sono rappresentate principalmente da zone di bonifica, valli o lagune. Questi scenari di allevamento rappresentano gli inizi della pratica dell'acquacoltura che ad oggi risultano essere ancora competitivi sul mercato e soprattutto meno impattanti sull'ecosistema. Infatti, l'acquacoltura praticata in valli o lagune prevede un leggero intervento dell'uomo sia dal punto di vista strutturale ed anche per quanto riguarda l'apporto di cibo. Essendo le valli e lagune degli ambienti "aperti", permettono la proliferazione della biodiversità naturalmente presente che offre cibo naturale ai pesci allevati.

Il secondo metodo è quello più moderno, dove l'attività di acquacoltura è più intensificata e condotta in modo imprenditoriale. Queste sono le realtà che più impattano sui mercati mondiali, aumentando la disponibilità di fonti ittiche alimentari e fronteggiando la domanda e l'offerta dei mercati. Questa metodologia di allevamento sfrutta maggiormente le fonti idriche ed energetiche, ottimizzando gli spazi a disposizione rispetto al numero di pesci allevati. Questi due metodi appena descritti vengono identificati secondo tre categorie: estensivo, semi intensivo ed intensivo.



## 2.1 Allevamento estensivo

L'acquacoltura estensiva è una forma di allevamento basata interamente sull'uso delle risorse naturali: l'allevatore non somministra alimenti dall'esterno e i pesci si alimentano tramite le risorse trofiche presenti. L'intervento dell'uomo si limita alla gestione dei flussi d'acqua tramite chiaviche e griglie ed interviene nella "semina" degli esemplari in giovane età, che intende allevare. Di norma l'acquacoltura estensiva viene praticata nelle lagune costiere, cosiddette "valli di pesca". Le densità di allevamento sono molto basse, circa  $0,0025 \text{ kg/m}^3$  e le produzioni sono tra i 30-150 kg/ha. L'acquacoltura estensiva è però un esempio fondamentale di interazione tra attività umana e conservazione dell'ambiente. Queste zone lagunari, in passato soggette a bonifica, ad oggi sono ambienti a rischio di degrado, soprattutto per i pericoli derivanti dall'ambiente circostante. Poiché l'acquacoltore ha interesse a garantire l'equilibrio ecologico della valle, egli porrà tutti gli accorgimenti necessari a mantenere salubre l'ambiente di allevamento assicurando il benessere e la sopravvivenza delle specie ittiche presenti col fine di mantenere stabile la redditività delle valli di pesca.

Le specie principalmente allevate in queste zone sono specie che vivono in acqua salata e salmastra e sono rappresentate da spigole, orate, anguille e cefali.



Figura n°3: Allevamento estensivo (Valli di Comacchio); Fonte: [www.deltadelpo.eu](http://www.deltadelpo.eu), 2019

## 2.2 Allevamento semi-intensivo

Questa tipologia di allevamento è l'intermedio tra l'acquacoltura estensiva e quella intensiva; rispetto a quella estensiva vi è un maggior apporto di fattori produttivi da parte dell'uomo. L'allevatore interviene somministrando dall'esterno l'alimento per velocizzare la crescita dei pesci, può fertilizzare il fondale per implementare la produzione di cibo naturale ed inoltre può intervenire nell'ossigenazione delle acque tramite la creazione di cascate o installando delle fontane apposite. I bacini dedicati a questo tipo di allevamento sono solitamente più profondi rispetto alle valli da pesca e possono essere utilizzate anche delle vasche a terra. Le produzioni dei sistemi semi intensivi sono molto variabili, in quanto dipendono dalla quantità di mangime somministrato e dalla taglia dei giovanili seminati, con una densità di circa 1 kg/ha e la produzione varia tra i 500-1200 kg/ha/anno.



Figura n°4: Allevamento semi-intensivo (Po di Volano); Fonte: [www.parcodeltapo.it](http://www.parcodeltapo.it), 2019

## 2.3 Allevamento intensivo

Nell'acquacoltura intensiva l'allevamento è completamente dipendente dall'allevatore, il quale si avvale dell'utilizzo della tecnologia per controllare gran parte dei parametri di produzione. L'alimento proviene completamente dall'esterno e viene distribuito manualmente o tramite distributori automatici. Questa tecnica di allevamento può essere praticata in vasche in vetroresina, pvc o vasche di cemento per l'allevamento a terra, ma esistono anche gabbie sommerse o galleggianti per l'allevamento direttamente nei laghi o in mare, installate in zone riparate della costa.

Per quanto riguarda l'allevamento in vasca, i parametri dell'acqua possono essere maggiormente controllati, come ad esempio la temperatura che viene modificata tramite sistemi di riscaldamento o raffreddamento per mantenere i pesci ad un *optimum* di temperatura che permette di mantenerne il metabolismo sempre attivo. I flussi nelle vasche sono controllati tramite l'utilizzo di flussimetri e permettono un completo ricambio dell'acqua nella vasca in un determinato intervallo di tempo. I rifiuti organici prodotti dai pesci vengono rimossi artificialmente e le acque in uscita ed in entrata nelle vasche di allevamento vengono filtrate tramite dei metodi di filtraggio e rimozione dei solidi.



Figura n°5: Allevamento intensivo (vasche a terra); Fonte: [www.scubla.it](http://www.scubla.it), 2016

L'allevamento intensivo in gabbie permette invece un minor controllo dei parametri delle acque, dal momento che sono in contatto diretto con l'ambiente circostante e vengono influenzate dalle condizioni dell'ambiente stesso, ma nel contempo il ricambio è maggiore e senza dispendio energetico in quanto avviene ad opera delle correnti. Le gabbie possono essere di tipo galleggiante e devono essere installate in siti appositi previa valutazione di incidenza ambientale ed al riparo di possibili mareggiate. Al contrario, le gabbie sommerse possiedono il vantaggio di poter essere posizionate anche in siti più esposti; essendo sommerse, i flussi superficiali come il moto ondoso non mettono a rischio l'impianto di allevamento.

In entrambi i casi l'alimento può essere distribuito manualmente o tramite sistemi automatizzati e la densità, taglia media e tassi di accrescimento possono essere resi disponibili agli allevatori tramite delle telecamere sommerse collegate a software.



Figura n°6: Allevamento intensivo (gabbie off-shore); Fonte: [www.hellofish.it](http://www.hellofish.it)

### 3. TROTA IRIDEA – *Oncorhynchus mykiss*

#### 3.1 Classificazione tassonomica

*Oncorhynchus mykiss*, secondo la classificazione di Linneaus nel 1758, appartiene all’Ordine dei salmoniformi e alla famiglia dei salmonidi; in Italia è riconosciuta sotto il nome comune di trota iridea o trota arcobaleno.

Regno	<i>Animalia</i>
PHylum	<i>Chordata</i>
Classe	<i>Actinopterygii</i>
Ordine	<i>Salmoniformes</i>
Famiglia	<i>Salmomidae</i>
Sottofamiglia	<i>Salmonidae</i>
Genere	<i>Oncorhynchus</i>
Specie	<i>O. mykiss</i>



Figura n°7: Trota iridea adulta (*Oncorhynchus mykiss*); Fonte: [www.adriaticnature.com](http://www.adriaticnature.com), 2018

### 3.2 Morfologia

La trota iridea possiede un corpo di forma allungata, la testa ha una forma conica e la bocca è leggermente obliqua, con l'osso mascellare che si estende fino al margine posteriore dell'occhio; presenta inoltre dei piccoli denti disposti in 1 o 2 serie solamente sullo stelo del vomere. La linea laterale è orizzontale, mentre sul dorso anteriormente al lobo superiore della pinna caudale presenta una pinna adiposa, caratteristica peculiare dei salmonidi.

La livrea varia in dipendenza dell'habitat di appartenenza, dalle dimensioni degli esemplari e dalla maturazione sessuale. Generalmente il corpo di questa specie presenta una tonalità blu-verdastra nella porzione dorsale, mentre sui fianchi negli esemplari giovani possiamo trovare delle bande laterali di colorazione più scura che gradualmente tende a schiarirsi in riflessi argentei durante la crescita. Sui fianchi è presente una fascia più o meno alta di colore porpureo, che si estende dall'opercolo al peduncolo caudale ed assume tonalità più intense tendenti all'iridescente durante il periodo riproduttivo. Il ventre è biancastro tendente al bianco e tutto il corpo è ricoperto della punteggiatura caratteristica di questa specie (Agraria.org, 2023).

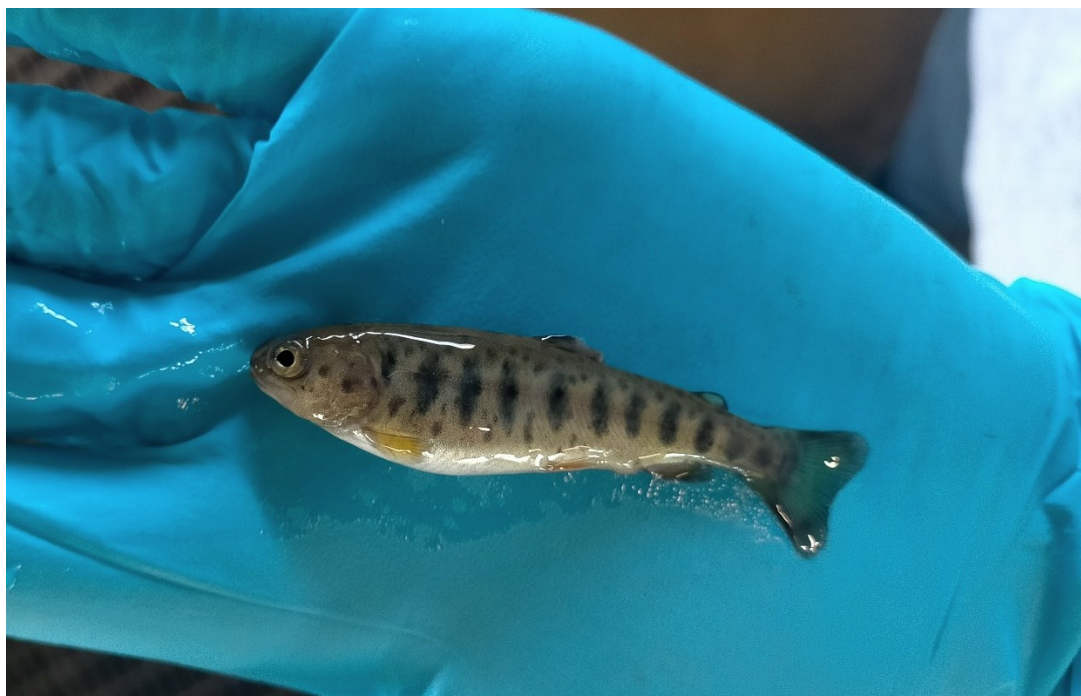


Figura n°8: Giovanile di trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*); Fonte: Zanolli Leonardo

### 3.3 Distribuzione

Questa specie ha origine dal versante pacifico dell'America settentrionale fino al sud del Messico, comprendendo le coste asiatiche del pacifico tra la Kamchatka e il basso corso dell'Amur. In Italia è stata introdotta a scopi di allevamento, ha difficoltà a riprodursi in natura ed è dipendente dalle introduzioni a scopo di ripopolamento. Alcune popolazioni naturalizzate le possiamo trovare in alcuni torrenti del Friuli-Venezia Giulia, nel bacino del fiume Serchio in Toscana e nella parte alta del torrente Savena in provincia di Bologna e Firenze. Mentre le popolazioni dipendenti dai ripopolamenti sono distribuite in tutto il territorio (Muhlfeld et al., 2019).

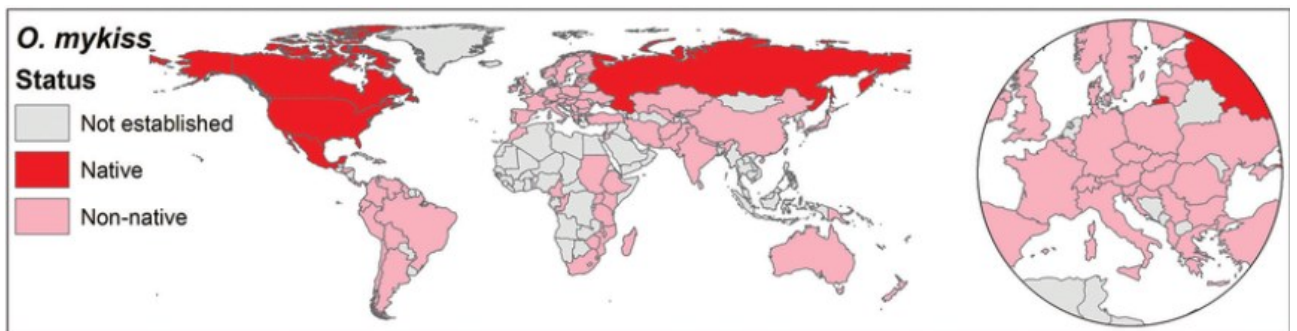


Figura n°9: Distribuzione della trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*) Fonte: Muhlfeld et al.,

2019

### 3.4 Habitat e comportamento

L'habitat ideale della trota iridea è rappresentato da tutti i laghi e torrenti di montagna dove le acque sono abbondantemente ossigenate e il clima non raggiunge temperature superiori ai 25 gradi durante il periodo estivo. L'*optimum* di temperatura è stabilito in acque che vanno dai 13 ai 18 C° (Webster & Lim, 2002) . Alcune di esse hanno un comportamento andromo (dunque che dalle coste marine iniziano il percorso riproduttivo dove raggiungono le acque dolci per la deposizione). Queste popolazioni, anche chiamate “Steelhead”, sono presenti principalmente nelle regioni costiere dell’America del Nord. Ma sono state introdotte anche in altre aree come la costa occidentale degli Stati Uniti, Canada, Alaska sudorientale e Russia nella penisola della Kamchatka (Fretwell, 2016). Queste popolazioni sono caratterizzate da un accrescimento molto rapido e riescono in soli 3 anni di vita a raggiungere i 7/10 kg di peso. Mentre le popolazioni sedentarie sono residenti nei fiumi della costa pacifica di USA e Canada, e nello stesso lasso di tempo delle popolazioni “Steelhead” raggiungono un peso massimo di 4.5 kg (Agraria.org, 2023). Gli individui presenti nel nostro paese invece sono popolazioni che vivono esclusivamente in acque dolci, di torrenti, fiumi e laghi dove le temperature non superano i 25C° e i livelli di ossigeno sono costanti durante tutto il periodo dell’anno. La loro presenza è strettamente dipendente dalle azioni di ripopolamento in quanto non riescono a riprodursi in maniera naturale. Alcuni casi di riproduzione naturale sono stati segnalati a nord-est della penisola (queste popolazioni hanno probabilmente origine da ripopolamenti avvenuti con stock introdotti dalla Slovenia dove furono importati riproduttori selvatici prelevati nel nord America).



Figura n°10: Trota iridea (a sinistra); Fonte: [www.wildtrout.org](http://www.wildtrout.org); Trota Steelhead (a destra);

Fonte: [www.aquariumofpacific.org](http://www.aquariumofpacific.org)



### 3.5 Alimentazione naturale

In natura la trota iridea si ciba di insetti, molluschi, uova di pesce, piccoli pesci e crostacei, tra i quali il gambero di fiume. Quest'ultimo contiene un pigmento carotenoide responsabile della colorazione arancione-rosata della carne degli esemplari definiti "salmonati" (Agraria.org, 2023). Questo regime alimentare prettamente carnivoro è una delle chiavi della sua adattabilità all'allevamento, dove la maggior parte dei mangimi per l'acquacoltura sono composti prevalentemente da farina di pesce.

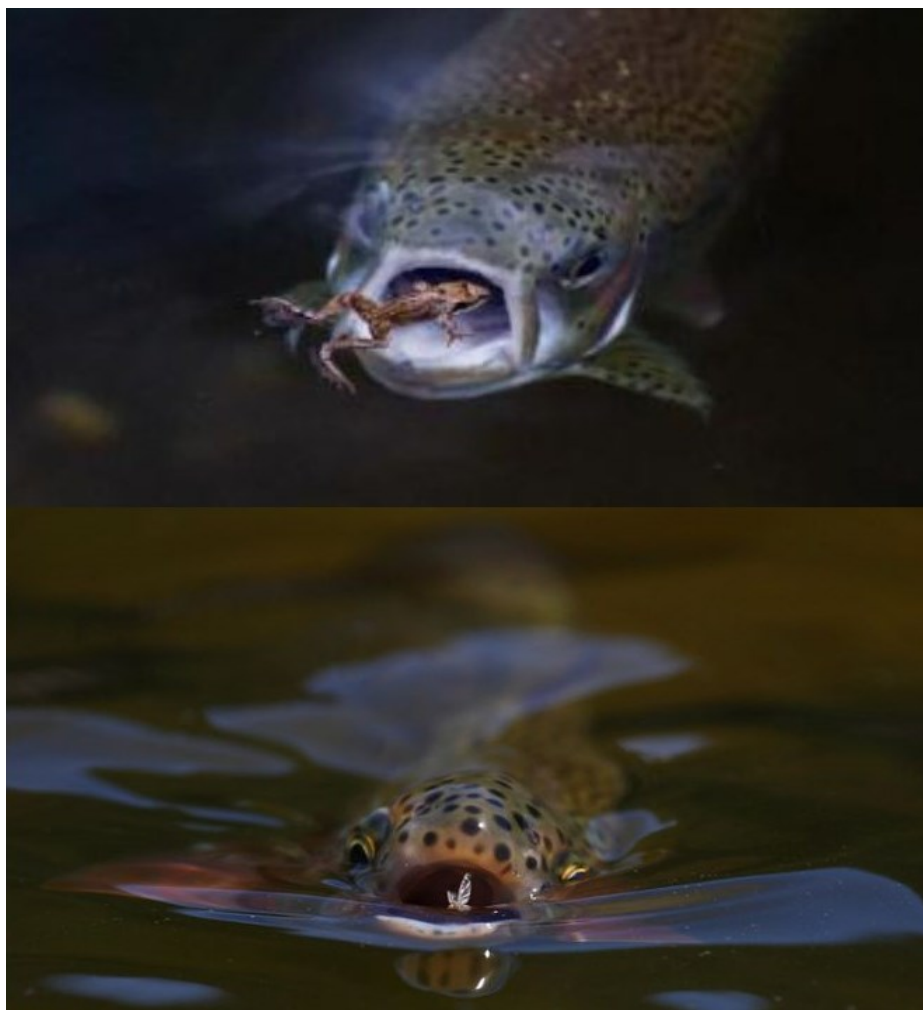


Figura n°11: Trota caccia una rana (in alto); trota iridea caccia un insetto (in basso); Fonte:

[www.fishbehaviour.weebly.com](http://www.fishbehaviour.weebly.com)

#### 4. ALLEVAMENTO DELLA SPECIE

La monocoltura è la pratica più comune nell'allevamento della trota iridea e i sistemi intensivi, strutture nelle quali vi deve essere costantemente la possibilità di poter usufruire di acque di ottima qualità, sono considerati necessari nella maggior parte delle situazioni per rendere l'operazione economicamente vantaggiosa.

Questa specie viene solitamente allevata in vasche a terra in cemento o in calcestruzzo oppure in vasche di vetroresina di forma circolare o rettangolare, in ambienti chiusi grazie ad un sistema a riciclo chiamato “RAS” e le condizioni ambientali come ossigeno, flusso d'acqua, PH, temperatura ed alimentazione sono controllate dagli allevatori, questo tipo di vasche possono essere gestite anche in locali interni come capannoni. Altrimenti possono essere utilizzate altre vasche solitamente in vetroresina anche chiamate *raceways*, vasche rettangolari dalla forma allungata e queste sono spesso posizionate in ambienti esterni, dunque risentono maggiormente delle condizioni ambientali.



Figura n°12: Vasche circolari per allevamento della trota iridea; Fonte: [www.scubla.it](http://www.scubla.it), 2021

#### 4.1 Allevamento in *raceways*

Quest'ultima tipologia di vasche si presta molto bene per l'allevamento della trota, in quanto grazie alla sua forma allungata il flusso d'acqua in entrata genera una corrente continua, ideale per la trota in quanto, essendo un pesce che vive nei fiumi ed abituata a nuotare in corrente, ricrea perfettamente il flusso d'acqua a loro naturale. Inoltre questo flusso di corrente generato permette una miglior rimozione di eventuali residui solidi organici prodotti dai pesci e fa sì di poter mantenere un livello dell'acqua lievemente inferiore rispetto alla media senza creare stress ai pesci in vasca. Questo vantaggio consente una miglior visualizzazione degli animali da parte dell'allevatore il quale riesce ad avere un maggior controllo sui parametri visibili dei pesci, come l'alimentazione, lo stress ed eventuali segni patologici, consentendo un rapido intervento (National Fisheries Development Board, 2014).



Figura n°13: *Raceways* per l'allevamento di trote iridee; Fonte: [www.hellofish.it](http://www.hellofish.it)

## 4.2 Allevamento in sistemi a ricircolo “RAS”

Un altro metodo di allevamento in vasca utilizzato per la trota iridea è quello dei sistemi a riciclo (RAS) questa pratica di acquacoltura a terra consente agli allevatori di utilizzare l'acqua in modo oculato. L'allevamento di trote in RAS potrebbe superare molti dei problemi che gli allevatori devono affrontare. Ad esempio, la possibilità di insorgenza di malattie può essere ridotta al minimo tramite dei sistemi di sanificazione delle acque con i raggi UV, mentre l'uso efficiente dell'acqua e della terra aiuta l'allevatore a ottenere maggiori profitti riducendo i costi di produzione. Inoltre, l'esposizione dei pesci allo stress può essere ridotta per alcuni fattori come il clima avverso, le condizioni di temperatura sfavorevoli, gli episodi di inquinamento e la predazione soprattutto da parte di uccelli ittiofagi in quanto questa tipologia di allevamento viene solitamente condotta in locali interni come capannoni o infrastrutture appositamente costruite (National Fisheries Development Board, 2014).



Figura n°14: Sistema di allevamento a ricircolo (RAS); Fonte: [www.scubla.it](http://www.scubla.it), 2014

### 4.3 Parametri dell'acqua di allevamento

Un potenziale sito per la produzione commerciale di trote deve avere una fornitura di acqua di alta qualità per tutto l'anno (1 l/min/kg di trote senza aerazione o 5 l/sec/tonnellata di trote con aerazione), che soddisfi una serie di criteri:

L'acqua di falda può essere utilizzata quando non è richiesto il pompaggio, ma in alcuni casi può essere necessaria l'aerazione. L'acqua di pozzo sovrasatura di azoto disciolto può causare la formazione di bolle di gas nel sangue dei pesci, impedendo la circolazione, una condizione nota come malattia delle bolle di gas (*gas bubble disease*). In alternativa, è possibile utilizzare l'acqua di fiume, ma la temperatura e le fluttuazioni di flusso alterano la capacità di produzione. Quando questi criteri sono soddisfatti, le trote sono generalmente allevate in *raceways* o stagni con acqua corrente, ma alcune sono prodotte in gabbie e sistemi a ricircolo (Towers, 2010). La trota è una specie molto sensibile alla presenza di sostanze che derivano dal catabolismo delle proteine quali, ammoniaca, nitrati e nitriti. Le trote iridee riescono a tollerare maggiormente l'alcalinità e la durezza delle acque rispetto all'acidità ma è buona norma utilizzare acque neutre o mediamente alcaline con PH tra 6,5 ed 8,5 (Agraria.org, 2023). L'intervallo ottimale di temperatura dell'acqua per la crescita e lo sviluppo è compreso tra 12 e 21 gradi, l'intervallo ottimale per l'ossigeno disciolto è ad una concentrazione di 7-9 mg/l, mentre una diminuzione a 3-4 mg/l provoca depressione e morte. La concentrazione consentita di ammoniaca nell'acqua è di 0,1 mg/l; un contenuto di ammoniaca pari a 0,3-0,4 mg/l provoca infatti la morte delle trote. Il contenuto di nitriti, prodotti del metabolismo dei pesci, riduce il tasso di crescita e la sopravvivenza e non devono superare gli 0,08 mg/l. Un aumento della concentrazione di nitriti fino a 0,5 mg/l porta alla morte dei pesci. La concentrazione consentita di cloruri nei bacini d'acqua dolce in cui viene allevata la trota iridea è fino a 20 mg/l. La concentrazione ottimale di solfati è fino a 5 mg/l, mentre il ferro totale è tollerato sino a 1 mg/l. L'alcalinità dell'acqua, ad esempio, i livelli di CaCO<sub>3</sub>, ottimali per l'allevamento di trote sono compresi tra 10 - 400 mg/l (Lazarev et al., 2020; Ponomarev et al., 2022).

DO <sub>2</sub>	near saturation.
CO <sub>2</sub>	<2.0 ppm.
Temperature	12-21°C.
pH	6.5-8.5.
Alkalinity (as CaCO <sub>3</sub> )	10-400 mg/litre.
Manganese	<0.01 mg/litre.
Iron	<1.0 mg/litre.
Zinc	<0.05 mg/litre.
Copper	<0.006 mg/litre in soft water or <0.3 mg/litre in hard water.

Figura n°15: Parametri dell'acqua idonei all'allevamento della trota iridea ; Fonte: Chen, 2009

#### 4.4 Riproduzione

La trota iridea non si riproduce naturalmente nei sistemi di allevamento, dunque si ricorre alla riproduzione artificiale.

Gli esemplari riproduttori vengono selezionati in base a caratteristiche fenotipiche di interesse commerciale, sani e resistenti alle malattie. In questa specie la maturità sessuale si raggiunge intorno ai 2 anni di vita, ma raramente vengono utilizzati esemplari riproduttori prima dei 3 e 4 anni di età; una femmina può arrivare a produrre fino a più di 2000 uova/kg di peso. Alcune realtà produttive di trote iridee sono adibite solamente alla fase di riproduzione, con la conseguente commercializzazione delle uova già fecondate od altrimenti delle larve di trota.

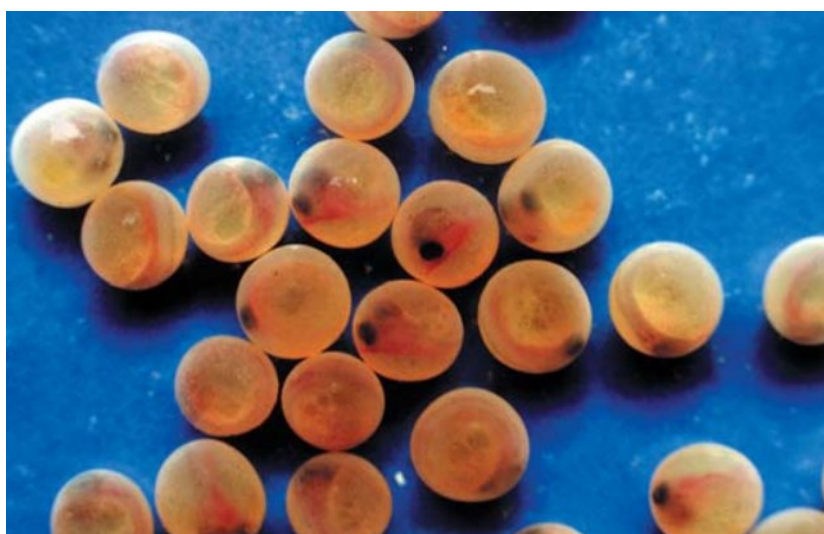


Figura n°16: uova di trota iridea fecondate; Fonte: Hoitsy et al., 2021

Gli esemplari maschi e femmine vengono tenuti separati tra loro, in vasche dove le condizioni ambientali, densità di allevamento e regime alimentare sono ottimali.

Nella riproduzione artificiale è importante sincronizzare il periodo di ovulazione degli esemplari femmine, solitamente più breve, con il periodo di produzione dei gameti maschili, che generalmente è più lungo. Per fare ciò si può intervenire utilizzando ormoni somministrati intramuscolarmente oppure modificando il fotoperiodo e la temperatura nelle vasche dove sono tenuti i riproduttori in maniera artificiale grazie a lampade e termometri appositi.

#### **4.5 Fertilizzazione**

Una volta raggiunta la maturazione dei gameti di entrambi i sessi si procede con la vera e propria fertilizzazione artificiale, dove vengono prelevati gli esemplari maturi sessualmente e vengono anestetizzati per ridurre lo stress dell'operazione. A questo punto si pratica una leggera pressione sull'addome degli esemplari interessati, spesso il tutto è accompagnato dall'inserimento di un ago nella cavità addominale a ridosso della pinna anale, il quale insuffla aria a leggera pressione, per facilitare la fuoriuscita delle uova. Lo sperma viene raccolto utilizzando la stessa tecnica ma senza l'aiuto di aria insufflata e viene conservato in appositi contenitori. Successivamente viene aggiunto alle uova raccolte; è buona pratica utilizzare lo sperma di 1 maschio per le uova di 2-3 femmine spremute, in quantità di 1-3 ml/l. Una volta uniti e mescolati delicatamente tra di loro i gameti maschili e femminili, è necessario aggiungere acqua, la stessa acqua che si utilizza per l'incubazione, per attivare gli spermatozoi e far avvenire la fecondazione. Si lasciano riposare le uova fecondate per 15-20 minuti, ricoperte d'acqua pulita e poi si procede con ripetuti lavaggi delle uova con acqua corrente per eliminare eventuali residui di sperma o feci.

L'incubazione avviene in contenitori appositi che favoriscono una circolazione regolare dell'acqua; i tempi di incubazione delle uova vengono espressi in gradi/giorno, che esprimono i giorni occorrenti dalla fecondazione dell'uovo alla nascita degli avannotti alla temperatura di

1°C e che, divisi per la temperatura media dell'acqua, consentono una valutazione approssimativamente esatta e comunque sufficiente ai fini pratici. Nella trota iridea è di 300-320°/giorno, sono cioè necessari 30-32 giorni per la schiusa alla temperatura di 10°C (Pastorino, 2015) . Una volta schiuse le uova, le larve si presenteranno immobili sul fondo del contenitore di incubazione, con un rigonfiamento a livello addominale, il cosiddetto “sacco vitellino”; questo viene riassorbito e successivamente le larve acquisiscono vitalità e salgono in superficie dove prendono una “bolla d'aria” necessaria a gonfiare la vescica natatoria, organo responsabile della capacità dei pesci di stabilizzarsi nelle diverse colonne d'acqua. Gli avannotti di trota iridea generalmente hanno dimensioni maggiori rispetto a quelli di numerose altre specie ittiche e questo comporta il vantaggio di poter iniziare da subito una dieta a base di farine o sbriciolati di piccolissime dimensioni, saltando la parte dello svezzamento.



Figura n°17: Larve di trota iridea con sacco vitellino; Fonte: Hoitsy et al., 2021



## 5. ALIMENTAZIONE

L'alimentazione della trota iridea in allevamento avviene utilizzando quasi esclusivamente diete artificiali ed il mangime utilizzato è quello di tipo estruso pellettato. Le composizioni dei mangimi variano, in base all'età dei pesci, la dimensione e le esigenze nutrizionali della specie. Le trote iridee sono riconosciute come specie carnivora ed in quanto tale, le diete sono principalmente di tipo proteico ed energetico. Gli ingredienti energetici di una dieta per trote iridee sono proteine, lipidi e carboidrati. Le proteine provengono sia da fonti animali (farina di pesce) che vegetali (grano, mais, soia). I lipidi provengono dalla farina di pesce e dall'olio di pesce mentre i carboidrati provengono da ingredienti di origine vegetale (Klontz, 1991).

Le diete possono essere distribuite manualmente o tramite l'utilizzo di mangiatoie automatiche; la razione giornaliera viene calcolata in base alla taglia, alla biomassa presente nella vasca ed alla temperatura dell'acqua di allevamento, seguendo specifiche tabelle, solitamente fornite dalle ditte mangimistiche.

Number fish per kilogram	Pellet size	Water temperature°C									
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		% body weight per day									
2600	1	2.9	3.4	3.7	3.9	4.6	4.8	5.2	5.8	6.0	6.4
1300	1	2.8	3.3	3.6	3.8	4.4	4.7	4.9	5.6	5.9	6.1
700	2	2.7	3.0	3.3	3.6	4.1	4.5	4.8	5.1	5.6	5.8
400	2	2.6	2.8	3.0	3.2	3.9	4.0	4.6	4.9	5.0	5.1
200	3	2.3	2.6	2.8	3.0	3.6	3.8	4.3	4.5	4.6	4.7
130	3-4	2.1	2.3	2.5	2.8	3.3	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1
90	4	1.9	2.0	2.1	2.4	2.7	2.9	3.0	3.2	3.6	3.8

Figura n°18: Scheda tecnica di alimentazione della trota iridea; Fonte: Hilton & Slinger, 1981.

## 5.1 Alimentazione degli avannotti

Con il termine “avannotti” si intende indicare i giovanili delle specie ittiche.

Gli avannotti necessitano di una dieta ad alto contenuto proteico ed energetico, mediamente composta da un 50% di proteine ed una quota energetica che varia dal 15 al 20%. Gli avannotti hanno un tasso metabolico più veloce rispetto ai pesci di taglia maggiore ed hanno bisogno di una quantità di mangime maggiore rispetto al loro peso corporeo. I mangimi utilizzati sono di tipo sbriciolato in quanto l'apparato boccale è ancora piccolo. Inizialmente l'alimento viene distribuito manualmente 8-10 volte durante il giorno, in modo tale che tutti i soggetti ricevano la propria razione; una volta addestrati al ricevimento dell'alimento dall'esterno è buona pratica iniziare a ridurre le somministrazioni giornaliere, passando da 8-10 a circa 5 somministrazioni. In questa fase può essere introdotto l'uso della mangiatoia, coadiuvato da qualche somministrazione manuale per monitorare lo stato di salute dei pesci nelle vasche. Quando gli avannotti raggiungono circa i 10 centimetri di lunghezza vengono trasferiti nelle vasche di ingrasso, dove all'aumentare della taglia aumenterà anche il diametro del pellet utilizzato (Hinshaw, 2016).



Figura n°19: Alimentazione manuale (a sinistra); Fonte: Zanolli Leonardo; alimentazione automatica (a destra); Fonte: [www.scubla.it](http://www.scubla.it), 2021

## 5.2 Fase di pre-ingrasso e ingrasso

Gli avannotti vengono quindi trasferiti nelle vasche di ingrasso; come già ricordato, spesso le strutture più utilizzate per questa fase di allevamento sono le *raceways*, vasche di forma rettangolare ed allungata in calcestruzzo. La quantità di alimento, il flusso d'acqua, la quantità di ossigeno presente e la temperatura dell'acqua d'allevamento vengono commisurati in base alla biomassa ed alla taglia media delle trote allevate. In presenza di temperature comprese tra i 10 e 14 °C le trote raggiungono una lunghezza di 15-20 centimetri ed un peso di 80-100 grammi dopo 6-8 mesi dalla schiusa delle uova.

Nella fase di ingrasso solitamente vengono utilizzate diete ad alto contenuto energetico ed in questa maniera i pesci raggiungono la taglia commerciale, compresa tra i 250-300 grammi in circa 10-12 mesi (Agraria.org). Durante quest'ultima fase è possibile somministrare ai pesci alcuni mangimi specifici per la salmonatura ed ottenere le così dette "trote salmonate"; suddetti mangimi contengono dei pigmenti specifici e devono essere somministrati per un periodo che varia dai 45 ai 60 giorni.

### 5.3 Mangimi con pigmento

Le trote “salmonate” nel mercato spuntano prezzi maggiori, dovuti ad una maggior richiesta da parte dei clienti. La salmonatura nelle trote è data da alcuni specifici pigmenti, che in natura le trote assumono principalmente da alcuni gamberetti, che sono presenti nella loro dieta naturale; questi contengono un particolare colorante che la trota tende a fissare nel muscolo, prendendo il tipico colore arancione, anche detto salmonato. Esternamente queste trote si possono riconoscere da due sfumature purpuree lungo i fianchi del loro corpo. Nella produzione dei mangimi, prevalentemente in quelli destinati alla fase di ingrasso, alcuni includono questo pigmento derivato da carotenoidi, in particolare l’astaxantina; viene utilizzata principalmente nei mangimi per salmoni e trote per aumentare il deposito di pigmento nella pelle e nei muscoli. Inoltre, l’astaxantina alimentare, ha effetti positivi sulla crescita e su varie funzioni fisiologiche degli animali acquatici come, ad esempio, la resistenza allo stress ed alle malattie. L’astaxantina in commercio deriva principalmente dalla sintesi chimica, questo per un fattore di abbattimento dei costi e miglior stabilità a concentrazione di carotenoidi elevate (Zhao et al., 2022). Tuttavia negli ultimi anni il maggior interesse dei consumatori verso i prodotti alimentari e lo sviluppo delle attività di acquacoltura biologica, dove i regolamenti non consentono l’utilizzo di pigmenti di sintesi, hanno indirizzato la ricerca verso l’utilizzo di pigmenti carotenoidi di origine naturale, tra i quali spuntano degli ottimi risultati i pigmenti derivanti da microalghe *Tetraselmis suecica* e *Tisochrysis lutea*, e il gambero rosso della Louisiana *Procambarus clarkii*, caratterizzati da un elevato contenuto di carotenoidi, quindi da un notevole effetto pigmentante (Pulcini et al., 2021).



Figura n°20: Pellet tradizionale (a sinistra); Fonte: Dethlefsen et al., 2016; Pellet con Astaxantina; Fonte: Ljungqvist et al., 2013

## 6. MANGIMI

I mangimi utilizzati in acquacoltura sono il risultato di numerose ricerche, volte a capire quali sono i fabbisogni dei pesci, con lo scopo di soddisfarli a pieno, utilizzando materie prime di origine animale, come la farina di pesce per soddisfare il fabbisogno proteico, in aggiunta alle farine di origine vegetale. Queste ultime sono utilizzate per l'apporto di proteine e carboidrati ed infine gli olii di pesce vengono utilizzati come apporto energetico. Ad oggi la ricerca è volta a migliorare la sostenibilità dei mangimi; sono così state introdotte altre fonti proteiche ed energetiche "alternative" alle farine ed olii di pesce, riducendo così i consumi e l'impatto della razione alimentare.

La maggior parte dei mangimi per l'acquacoltura viene prodotta e distribuita sotto forma di pellet, e vengono prodotti per estrusione. Questo processo viene svolto a partire dalle materie prime, le quali vengono macinate e pulite da eventuali residui, successivamente miscelate tra di loro e sottoposte ad una cottura iniziale a circa 40-50 °C; successivamente si passa al processo di estrusione vera e propria.

Questo è un processo che avviene ad alte temperature per un breve periodo di tempo; si parla infatti di una cottura a vapore a circa 120 °C per alcuni secondi. Successivamente viene data una forma cilindrica all'impasto, il quale viene fatto passare ad alta pressione tramite delle trafilare di diametri differenti a seconda della dimensione dei pellet prodotti, le quali tagliano l'impasto in piccoli cilindri. Infine, i pellet ottenuti vengono essiccati prima dell'ultimo passaggio, quello della grassatura, dove i pellet vengono ricoperti di olio per favorirne l'inclusione ed aumentare l'appetibilità. L'estrusione è un'alternativa eccellente per la produzione di mangimi, dal momento che aumenta la digeribilità e le proprietà funzionali dei mangimi per acquacoltura, al pari della stabilità all'acqua e la galleggiabilità. Inoltre, il processo termico durante l'estrusione diminuisce i fattori anti-nutrizionali presenti nei legumi o in altri sottoprodotti agroindustriali (Cruz et al., 2015).

## **7. COMPOSIZIONE DEI MANGIMI**

La prima pubblicazione di dati riguardanti i fabbisogni nutritivi dei pesci è stata da parte di Embury e Gordon, nel 1924, dove studiarono il contenuto di stomaco ed intestino di alcune trote selvatiche pescate in varie zone degli Stati Uniti. I risultati della loro ricerca hanno evidenziato una dieta costituita dal 49% di proteine, 15-16% di lipidi, 8% di fibra ed un 10% di ceneri, questi dati raccolti su pesci selvatici e riportati all'epoca si avvicinano molto alla composizione media dei mangimi odierni utilizzati nell'allevamento delle trote.

Le proteine costituiscono la parte maggioritaria del fabbisogno nutrizionale, con quote variabili a seconda della specie e dall'età. Per gli avannotti il fabbisogno proteico è maggiore, infatti le proteine rappresentano indicativamente il 52% della dieta, mentre con l'avanzare dell'età il fabbisogno proteico diminuisce. Nella composizione dei mangimi le quote proteiche derivano principalmente dalla farina di pesce, che attualmente pare non essere così sostenibile. Per quanto riguarda i lipidi invece rappresentano la principale fonte energetica, nei mangimi sono integrati sotto forma di olii, sia animali che vegetali, anche se l'olio principalmente usato è quello di pesce. Vengono utilizzati anche per ammortizzare i costi molto alti della farina di pesce. Apportano inoltre acidi grassi indispensabili per la crescita dei pesci, di cui uno tra i più importanti è l'omega-3. Anche i carboidrati sono utilizzati come fonte energetica nella composizione dei mangimi; percentuali di carboidrati fino al 25% risultano efficaci nella composizione di mangimi per le trote. Infine, anche le vitamine vengono integrate nei mangimi per i pesci, in quanto ricoprono dei ruoli fondamentali per il funzionamento metabolico. Per questo effetto sono responsabili soprattutto le vitamine del gruppo B, anche se sono difficilmente riscontrabili deficit vitaminici.

## 7.1 Farina di pesce

La farina di pesce è una delle componenti principali nella formulazione dei mangimi per l'acquacoltura, costituisce il principale apporto di proteine, vitamine e minerali. Inoltre, le proteine della farina di pesce sono costituite da un ottimo profilo amminoacidico e ricche di amminoacidi essenziali, oltre che vantare un'elevata digeribilità (Hardy, 2010). La farina di pesce è ottenuta a partire da piccoli pesci interi pelagici appositamente pescati oppure da scarti di lavorazione del pesce fresco, successivamente sottoposti a lavorazioni industriali di cottura, pressatura e successivo essiccamento. Alcune specie ittiche vengono pescate proprio con lo scopo di essere poi utilizzate per la produzione di farina come le sardine e le acciughe, questo per il loro elevato contenuto lipidico, precoce maturità ed alta fecondità. Queste caratteristiche però dipendono molto dalle condizioni climatiche ed ambientali e dunque le quantità pescate sono molto variabili ed imprevedibili (Barange et al., 2009). Secondo i dati FAO riportati nel 2008, riguardanti l'apporto di farina di pesce; nelle diete dei pesci onnivori è di circa il 30-40% mentre nei pesci carnivori come la trota iridea è maggiore del 40% nella formulazione, soprattutto nella dieta dei giovanili in quanto essendo in fase di crescita e formazione dello scheletro hanno bisogno di un ottimo apporto amminoacidico. Nei mangimi per l'acquacoltura è considerata come la fonte proteica più costosa; d'altro canto l'aggiunta di questa materia nella formulazione dei mangimi apporta importanti benefici nutrizionali che si traducono in risultati positivi sotto il profilo delle *performance* zootecniche, comportando una migliore efficienza alimentare e *performance* di accrescimento anche attraverso una migliore appetibilità del cibo, migliora l'assorbimento e la digestione dei nutrienti oltre che all'azione del sistema immunitario dei pesci allevati, così da ridurre la mortalità (Hodar et al., 2020).

## 7.2 Olio di pesce

L'olio di pesce è da sempre considerato come la miglior fonte energetica nella dieta dei pesci in acquacoltura; esso viene incluso in percentuali crescenti nelle razioni alimentari di pesci erbivori, onnivori e carnivori, fino ad arrivare ad una percentuale di inclusione negli ultimi che varia dal 18 al 31%. Nei pesci, i lipidi alimentari rappresentano un'importante fonte di acidi grassi essenziali per la crescita regolare, la salute, la riproduzione e le funzioni corporee. Tutte le specie di vertebrati, compresi i pesci, hanno un fabbisogno alimentare assoluto di acidi grassi polinsaturi (PUFA) sia n-6 che n-3, comunemente conosciuti come omega-6 ed omega-3. Il ruolo dei lipidi nella nutrizione dei pesci è diventato più importante negli ultimi anni data la produzione e l'implementazione di diete ad alto contenuto lipidico e ad alto contenuto energetico. I miglioramenti nella crescita, nell'efficienza nell'utilizzo del mangime e nella ritenzione dei nutrienti nei pesci alimentati con diete ad alto contenuto energetico vanno a beneficio non solo dell'acquacoltore, garantendo un periodo di crescita più breve, ma anche dell'ambiente. Livelli di lipidi fino al 40% sono attualmente utilizzati nei mangimi commerciali per il salmone. Gli oli di pesce sono stati tradizionalmente utilizzati come unica fonte lipidica alimentare nei mangimi per pesci commerciali data la loro disponibilità, il prezzo competitivo e l'abbondanza di acidi grassi essenziali contenuti in questo prodotto (Turchini et al., 2009). Dal 2010, circa il 71% dell'olio di pesce è stato utilizzato in acquacoltura per via di una maggior produzione di salmoni e conseguente inclusione di questo ingrediente nella loro dieta, con circa il 24% dell'olio contenente i livelli più elevati di PUFA utilizzato per il consumo umano diretto dopo la successiva raffinazione (Shepherd et al., 2013).



## 8. PROBLEMA SOSTENIBILITA'

L'acquacoltura è il settore della produzione alimentare in più rapida crescita del mondo, contribuisce per quasi la metà del consumo globale di pesce. Si stima che attualmente il 50% del fabbisogno di pesce alimentare sia soddisfatto dall'acquacoltura e si prevede che questa cifra raggiungerà il 60-70% entro il 2030 (Subasinghe et al., 2009). Se questo settore vuole mantenere il suo attuale tasso di crescita stimato dell'8,5 % annuo, allora comporta che anche l'input di materie prime per i mangimi cresca in contemporanea (Tacon & Metian, 2008). Questi ultimi sono costituiti prevalentemente da farina di pesce ed olio di pesce e rappresentano una quota che varia dal 30 al 70% dei costi totali di produzione dell'allevamento ittico. La produzione complessiva di mangimi per acquacoltura ha raggiunto i 40,1 milioni di tonnellate nel 2018, registrando una crescita sempre maggiore anno dopo anno. La farina e l'olio di pesce sono le principali fonti di proteine e di lipidi nei mangimi per acquacoltura. Su 171 milioni di tonnellate di produzione ittica totale, secondo i dati FAO circa il 12% delle catture totali (20 milioni di tonnellate), è stato trasformato in farina di pesce nel 2016 (Marc et al., 2018). La produzione mondiale totale di farina di pesce è stata di 4.445.000 tonnellate nel 2016 ed il Perù produce quasi 1/3 della fornitura totale di farina di pesce nel mondo. Il problema principale che mette in discussione la sostenibilità dell'utilizzo della farina come principale fonte proteica nella alimentazione dei pesci allevati in acquacoltura è il rapporto di pesce selvatico pescato che viene utilizzato per produrre una tonnellata di farina ed olio di pesce. Annualmente l'offerta di farina di pesce è stabile a 6,0-6,5 milioni di tonnellate e circa 4-5 tonnellate di pesce intero pescato sono utilizzate per produrre una tonnellata di farina di pesce secca. Uno dei parametri utilizzati nella valutazione della sostenibilità della farina ed olio di pesce è il parametro *Fish in-Fish out*, che mette in relazione la quantità di pesce prodotto in allevamento con la quantità di pesce pescato necessario per produrre la farina ed olio di pesce, utilizzati nella razione alimentare dei pesci allevati (Hodar et al., 2020).

## 9. PARAMETRO FISH IN – FISH OUT

L'allevamento ittico, come tutti gli allevamenti animali, dipende da mangimi con una composizione adeguata a coprire le esigenze nutrizionali degli stessi. Nel caso dei mangimi per l'acquacoltura, la fonte migliore per coprire correttamente tali esigenze degli animali è rappresentata dalla farina di pesce; per la trota iridea, ad esempio, i mangimi devono essere di alta qualità e con un alto contenuto di proteine digeribili, grassi ed energia, i quali sono solitamente apportati da olio e farina di pesce (Aas et al., 2020). Quest'ultima come appena riportato, negli ultimi anni è stata messa in dubbio dal punto di vista della sostenibilità e per dimostrare ciò uno dei parametri di riferimento è il rapporto *Fish in-Fish-out*. Il rapporto *Fish in-Fish out* (FIFO) è il fabbisogno espresso in chili di pesce selvatico pescato in natura, necessario per produrre un kg di pesce d'allevamento. I principali fattori responsabili della misura del FIFO sono il rapporto di conversione dei mangimi (FCR), nonché la quantità di mangime di cui ha bisogno il pesce per aumentare di un kilogrammo il proprio peso corporeo, delle specie allevate e la quantità di farina di pesce inclusa nei mangimi, questo rapporto può essere calcolato anche per l'olio di pesce oltre che per la farina. Parametro FIFO per la farina di pesce (FM) o per l'olio di pesce (FO):

$$100 \bullet \frac{\left( \frac{\text{FM or FO used in feed (tonnes)}}{\text{Yield in production of FM or FO (\%)}} \right)}{\text{Trout produced (tonnes)}}$$

Uno studio condotto in Norvegia da alcuni autori (Aas et al., 2020), sulle produzioni ittiche locali di trota iridea ha calcolato il rapporto FIFO delle produzioni stesse, dando come risultato un valore di 0,8 riguardante la farina di pesce nella produzione di trote. In soldoni, è necessario l'utilizzo di 0,8 kg di pesce per produrre la farina necessaria a produrre 1 kg di trote allevate. Mentre secondo i dati IFFO (The Marine Ingredients Organisation) fino agli anni 2000 il rapporto FIFO nei salmonidi era di 2,57, dunque, una richiesta di 2,57 kg di risorse oceaniche per produrre 1 kg di salmonidi. Questo dato, nel 2015 si è ridotto fino ad arrivare ad una media di 0,82, in coerenza con lo studio condotto in Norvegia appena citato. Questa riduzione è dovuta al calo delle risorse ittiche in natura, con un conseguente aumento del prezzo della farina di pesce, in concomitanza alle maggiori conoscenze riguardo l'utilizzo di fonti proteiche alternative alla farina di pesce.

## 10.FONTI PROTEICHE ALTERNATIVE E RISULTATI OTTENUTI

Per supportare la rapida crescita del settore dell'acquacoltura, soprattutto sotto il punto di vista della sostenibilità, la ricerca negli anni si è concentrata sulla formulazione dei mangimi, ed in particolare sulla sostituzione delle fonti proteiche derivate dalla farina di pesce, a fronte dell'aumento dei prezzi della stessa oltre che a ridurre il quantitativo di pesce selvatico catturato appositamente per la produzione della farina di pesce. Per essere una valida alternativa, il mangime selezionato deve possedere determinate caratteristiche, tra cui la qualità, ampia disponibilità e prezzo inferiore. Inoltre, deve avere anche buone caratteristiche nutrizionali, come bassi livelli di fibre/polisaccaridi non amidacei e fattori anti-nutrizionali, con un livello di digeribilità dei nutrienti elevato oltre che risultare appetibile per gli animali (Jannathulla et al., 2019). Uno dei sostituti maggiormente utilizzato nella composizione dei mangimi è la farina di soia, la quale vanta un grande apporto proteico ed un buon profilo di amminoacidi. Tuttavia, la presenza di fattori anti-nutrizionali nelle farine vegetali, i potenziali problemi di infiammazione del tratto digestivo (Merrifield et al., 2011) e la diminuzione dell'appetibilità del mangime stesso (Papatryphon et al., 2001) sono motivo di preoccupazione. Inoltre, la rapida crescita della popolazione umana ha messo sotto pressione l'uso dei terreni coltivabili competendo con l'alimentazione animale (Döös, 2002.) in aggiunta al problema derivante dalla quantità di acqua ed energia richieste per la coltivazione di queste piante. Dunque, le ricerche si stanno rivolgendo ad altre fonti proteiche alternative le quali riescano a soddisfare i fabbisogni nutrizionali degli animali acquatici e allo stesso tempo soddisfino anche il tema della sostenibilità ambientale. Le migliori risorse potrebbero essere la farina di insetti, la farina di microalghe e le *Single-Cell-Protein*, questi tre elementi infatti spiccano per il loro contenuto proteico e per la loro sostenibilità in quanto non richiedono grandi spazi per la loro produzione ed un ridotto utilizzo di acqua ed energia elettrica. Infine, sono state condotte alcune prove con dati promettenti anche sugli scarti delle lavorazioni animali, soprattutto dell'industria avicola, come sostituti della farina di pesce, in quanto anch'essi presentano un buon contenuto proteico ed amminoacidico oltre che essere sostenibili essendo prodotti di scarto.

## **11.FARINA DI INSETTI**

Uno dei sostituti alla farina di pesce è la farina di insetti; questi sono stati presi in considerazione per molti aspetti, poiché suddetti animali rientrano nella dieta naturale dei pesci in natura, oltre che essere ricchi di aminoacidi, lipidi, vitamine e minerali (Huis, 2013). Inoltre, il loro allevamento richiede un ridotto spazio e delle piccole quantità di acqua ed energia, mentre la loro alimentazione può derivare da scarti di produzione del settore ortofrutticolo, riescono pertanto a trasformare rifiuti organici di bassa qualità in fertilizzanti di alta qualità (Huis et al., 2013) dunque la loro impronta ambientale è decisamente ridotta. Numerosi insetti hanno mostrato anche attività antifungina ed antibatterica rivelatasi utile in termini di conservazione dei mangimi prodotti con la loro inclusione (Ravi et al., 2011). Sono stati valutati gli insetti in tutti i loro stadi (pupe, larve e adulti) nella alimentazione di diverse specie ittiche, sfruttando anche le diverse provenienze ed influenze dagli habitat degli insetti stessi. Secondo dati di letteratura il contenuto medio in proteine degli insetti varia dal 50 all' 82% sulla materia secca (Rumpold et al., 2013) e i profili amminoacidici presenti nella maggior parte delle farine di insetti sono in correlazione con i fabbisogni alimentari dei pesci (Hasan, 2001). Per quanto riguarda i minerali sono stati ritrovati potassio, ferro, magnesio, zinco, selenio, calcio e fosforo, questi ultimi in quantità scarse. Tuttavia, i profili di vitamine e minerali degli insetti dipendono in larga misura dalla composizione della dieta degli insetti. Ad esempio, l'alimentazione di larve di verme giallo con diete diverse contenenti rifiuti organici ha dato luogo a diverse composizioni di vitamine e minerali nelle larve stesse (Ramos-Elorduy et al., 2002).

## **11.1 Prova di sostituzione di farina di pesce con farina di *Tenebrio molitor* nella dieta della trota iridea: valutazione delle *performance* di crescita**

Considerando la trota iridea come una delle specie ittiche con maggiore peso commerciale nell'acquacoltura europea, ma la sua alimentazione si basa prevalentemente sull'utilizzo della farina di pesce come fonte proteica principale. La ricerca si è basata su alcuni insetti che offrono buoni valori nutrizionali per i pesci allevati, da utilizzare come parziale sostituzione della farina di pesce, poiché le proteine animali trasformate derivate da insetti d'allevamento sono state recentemente autorizzate dalla Commissione Europea per l'uso nei mangimi per pesci (Allegato II del regolamento 2017/893 del 24 maggio 2017).

Tra gli insetti consentiti rientra il verme della farina "*Tenebrio molitor*" il quale è stato oggetto di studio nella seguente prova di alimentazione su trote iridee.

Il *Tenebrio molitor* è un coleottero appartenente alla famiglia dei tenebrionidi, le sue larve sono di facile reperibilità ed allevamento e si nutrono di scarti vegetali e animali a basso valore nutrizionale. Le larve contengono circa il 47–60% di proteine ed il 31–43% di lipidi e i loro profili di aminoacidi e acidi grassi sono adatti per essere inclusi nei mangimi.

L'inclusione della farina di larve di *Tenebrio molitor* (TM) nella dieta delle trote iridee è stata svolta formulando tre diete isoenergetiche contenenti gli stessi livelli di proteine grezze (45,2%), di lipidi (15%). Le diete sono state suddivise e nominate in base al contenuto di farina di insetto incluso: TM0 senza inclusione di farina di insetto, TM25 dove l'inclusione era pari al 25%, TM50 dove l'inclusione di farina di insetto (TM) era del 50%. Tutte le diete sono state miscelate con olio di fegato di merluzzo ed acqua, successivamente pellettate formando dei pellet del diametro di 3,5 mm i quali sono stati essiccati a 50 C° per 48 ore. Gli ingredienti delle tabelle sono riportati nella tabella n°1.

	TM	TM0	MT25	MT50
Ingredienti, g kg <sup>-1</sup>				
Farina di pesce aringa <sup>o</sup>	-	750	490	250
TM	-	0	250	500
olio di fegato di merluzzo	-	80	39	0
Farina di glutine di mais	-	0	0	5
Orzo (fiocchi macinati)	-	0	46	35
Farina di grano	-	63	58	58
Crusca di frumento	-	57	57	57
Amido gelatinizzato (D500)	-	30	40	75
Miscela minerale <sup>#</sup>	-	10	10	10
Miscela di vitamine <sup>§</sup>	-	10	10	10

Tabella n°1: Ingredienti delle diete: TM0, TM25 e TM50; Fonte: Belforti et al., 2015

La prova è stata condotta per 90 giorni di alimentazione su 360 esemplari di trote iridee di sessi misti con un peso iniziale (IBW; *initial body weight*) di 115,6 ±14 g, i quali sono stati divisi in maniera casuale in 12 vasche di fibra di vetro alimentate da acqua di pozzo a 13±1 C°, con un flusso d'acqua continuo ed il ricambio era di circa 8 l/min. I pesci sono stati alimentati a sazietà visiva due volte al giorno per 6 giorni alla settimana e per monitorare la crescita veniva eseguito un *bulk weight* ogni due settimane su ogni vasca.

	TM0	MT25	MT50
IBW(g)	116,5	115,2	115,9
FBW(g)	313,8	316,6	308,2
WG(g)	197,3	201,5	192,4
FR, (%giorno)	1,40	1,35	1,31
FCR	1,20	1	1
Tasso di sopravvivenza (%)	86,7	96,7	97,5

Tabella n°2: Risultati della *performance* di accrescimento della prova di sostituzione della farina di pesce con farina di *Tenebrio molitor*; Fonte: Belforti et al., 2015

I risultati delle *performance* di accrescimento sono descritti nella tabella n°2, suddivisi per le diete somministrate e dimostrano:

Nessuna differenza significativa tra il FBW (*final body weight*) ed il WG (*weight gain*) tra le diverse diete, mentre si evidenzia una maggiore assunzione giornaliera di alimento (FR, % giorno; *Feeding Rate*) della dieta TM0 rispetto alla dieta TM50; di conseguenza la dieta TM0 ha mostrato *performance* di crescita meno favorevoli a fronte di una assunzione maggiore in quanto l' indice FCR (*Feed Conversion Rate*) risulta maggiore nella dieta TM0 che è stata assunta in maggior quantità, rispetto alle diete TM25 e TM50 (valore pari a 1 in entrambe le diete), a differenza del valore di 1,20 registrato nella dieta TM0. Il tasso di sopravvivenza registrato nella dieta TM0 è stato significativamente inferiore rispetto alle diete TM25 e TM50.

Tali risultati indicano che l'inclusione della farina di TM al 25% ed al 50% nella dieta delle trote iridee non influisce sul WG di crescita rispetto alla non inclusione, ma migliora i parametri di prestazione di crescita registrando degli indici di FCR minori rispetto alla dieta TM0 (Belforti et al., 2015).

## 12.SINGLE – CELL – PROTEIN

Nella ricerca di fonti proteiche alternative alla farina di pesce nell'alimentazione delle specie ittiche di allevamento, sono emerse anche le *Single-Cell-Protein* (SCP) come possibile fonte di sostituzione proteica. La ricerca si sta attivamente concentrando su questo tipo di fonte poiché indipendentemente dalla loro origine (batterica, microalghe, lieviti o da funghi filamentosi), esse presentano numerosi ed importanti vantaggi rispetto alle fonti proteiche convenzionali in quanto hanno un buon profilo nutrizionale, richiedono tempi di produzione più brevi, minore utilizzo di terreno ed energia e la loro produzione potrebbe non essere influenzata dalle variazioni stagionali e variazioni climatiche. Inoltre, possono essere prodotte da un'ampia gamma di substrati costituiti solitamente da materiali di scarto (Sharif et al., 2021). Tra le diverse fonti di SCP, quella batterica (BSCP) è una delle più popolari e sostenibili, poiché si caratterizza per il suo elevato contenuto proteico (fino all'80% su sostanza secca) rispetto ad altre fonti di SCP, un profilo amminoacidico che ricorda quello della farina di pesce, ed anche per il loro contenuto in vitamine, fosfolipidi e altri composti funzionali (Pereira et al., 2022). Il processo principale di produzione delle SCP è la fermentazione; questa può essere liquida o solida (Kadim, 2015). Successivamente alla fermentazione la biomassa può essere ulteriormente sottoposta a purificazione, essiccazione, lavaggio ed estrazione delle proteine per fornire tassi di produzione elevati con rese elevate (John et al., 2011).

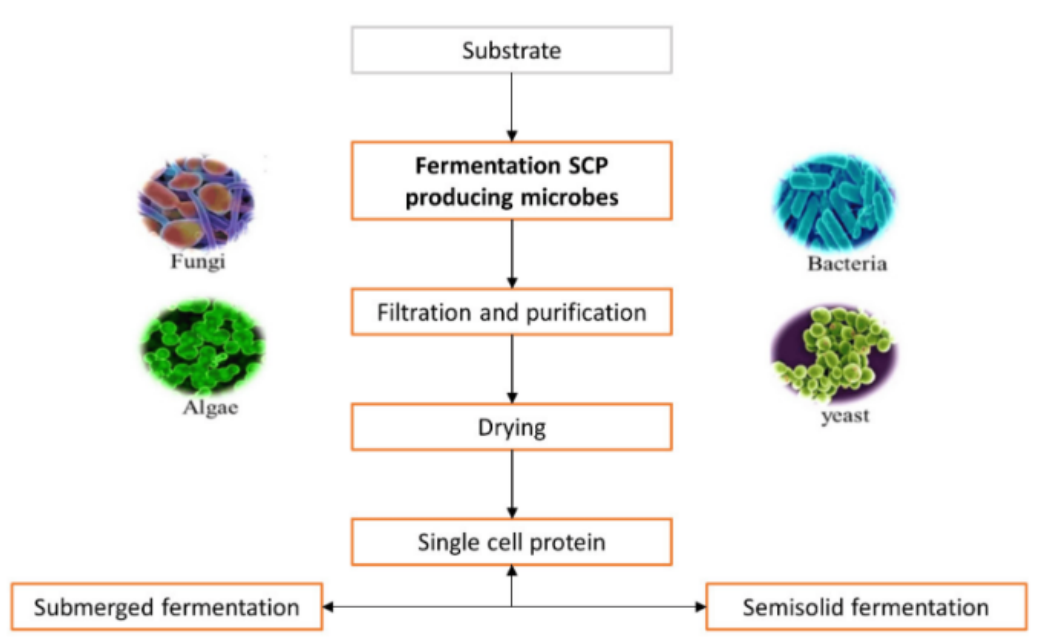


Figura n°21: Schema produttivo delle *Single-Cell-Protein*; Fonte: John et al., 2011



## **12.1 Prova di sostituzione della farina di pesce con *Single-Cell-Protein* batteriche da batteri metanotrofi nell'alimentazione di giovanili di trota iridea: valutazione delle *performance* di crescita**

Uno studio condotto in Spagna da un gruppo di ricercatori (Ruiz et al., 2023) ha voluto testare la sostituzione della farina di pesce con delle BSCP da batteri metanotrofi, mettendo a confronto 5 diete contenenti diverse percentuali di inclusione di BSCP in sostituzione alla farina di pesce.

Le BSCP, Uniprotein® Aqua, utilizzate sono state prodotte mediante coltivazione batterica in un processo di fermentazione chiuso, nel quale il metano derivato dal biogas, è stato rimosso dalle impurità per ottenere biometano ed è stato utilizzato come unica fonte di carbonio e l'ammoniaca come unica fonte di azoto consumata dai batteri metanotrofi per produrre nuova biomassa. Sono state formulate cinque diete sperimentali con diversi livelli di sostituzione della farina di pesce (0, 25, 50, 75 e 100%) con un BSCP, corrispondenti all'inclusione di 3,75% di BSCP dove la sostituzione è stata del 25%, di 7,5% di BSCP dove la sostituzione è stata del 50%, di 11,25% di BSCP dove la sostituzione è stata del 75% e 15% di BSCP dove la sostituzione è stata del 100% nelle diete sperimentali, per valutare l'effetto di questo nuovo ingrediente sulle *performance* di accrescimento della trota iridea. Le diete, contenenti tutte un valore di proteina grezza pari al 42% e di lipidi grezzi del 12%, sono state nominate rispettivamente D1, D2, D3, D4, D5, in base ai valori crescenti di sostituzione di farina di pesce con la BSCP testata.

Le diete sono state estruse ad una temperatura finale di 111-114 C° con un diametro dei pellet di 3 mm ottenuto tramite passaggio dell'impasto tramite una trafilatura avente tali dimensioni. Successivamente i pellet sono stati essiccati in essiccatore a letto fluido e dopo il raffreddamento sono stati rivestiti dagli olii previsti. Di seguito nella tabella n°3 gli ingredienti espressi in percentuale utilizzati nella formulazione delle varie diete sperimentali utilizzate.

Ingredienti, %	(0% BSCP)	(25% BSCP)	(50% BSCP)	(75% BSCP)	(100% BSCP)
Farina di pesce Super Prime	15.00	11.25	7,50	3,75	–
Uniprotein® Aqua *	–	3,75	7,50	11.25	15.00
Farina di sangue suino	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Farina di pollame	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Concentrato di proteine della soia	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Concentrato di proteine del pisello	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Glutine di grano	8.00	8.20	8.40	8,60	8,80
Farina di glutine di mais	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Farina di soia 48	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Farina di colza	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Pasto di girasole	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Farina di grano	11.00	10.60	10.30	9,90	9,50
Fave	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Olio di pesce	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
Olio di colza	13.80	13.90	13.90	14.00	14.00
Premiscela di vitamine e minerali	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Betaina cloridrato	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Antiossidante	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Fosfato monocalcico	0,80	0,80	0,80	0,80	0,90
L-Lisina HCl 99%	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
<b>Totale</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Proteina cruda	42.1	41.9	42.0	42.1	41.9
Grasso grezzo	21.1	21.0	21.1	21.0	21.0
Cenere	6.5	6.2	5.9	5.5	5.3
Energia lorda (MJ/kg di mangime)	22.1	22.1	22.2	22.3	22.3

Tabella n°3: Ingredienti % delle diete D1, D2, D3, D4; Fonte: Ruiz et al., 2023.

I giovanili di trote iridee utilizzati nella prova erano 720; una volta trasferiti nel centro sperimentale sono stati fatti acclimatare per due settimane in una vasca di 6 m<sup>3</sup>. Dopo questo periodo i pesci sono stati pesati individualmente e suddivisi in maniera casuale in vasche con sistema a ricircolo da 20,500 l in un numero di 30 pesci per vasca, con 4 vasche in replicato per ogni dieta (120 animali per dieta), la temperatura dell'acqua era di circa 15 C° ed il fotoperiodo seguiva i cambiamenti naturali a seconda del periodo dell'anno (da novembre a febbraio). La prova di alimentazione per la valutazione delle performance di accrescimento è durata per 83 giorni di alimentazione; il pasto è stato distribuito con mangiatoie automatiche ad un tasso del 3% della biomassa che si avvicina alla sazietà. La razione giornaliera è stata distribuita in due pasti rispettivamente alle 8.00 il primo ed alle 13.00 il secondo, ad ogni pasto la razione è stata distribuita in un'ora, due ore dopo ogni pasto i pellet non consumati sono stati raccolti ed asciugati in stufa per 24 ore a 120 C° per poi essere ripesati e calcolare la reale assunzione giornaliera.

Il peso iniziale individuale dei pesci (IBW) era di  $11,3\pm 0,2$ g, mentre alla fine della prova di alimentazione i pesci sono stati pesati individualmente per registrare il peso finale (FBW) e tramite equazioni sono stati calcolati l'indice di conversione alimentare (FCR), l'indice di crescita (SGR) e l'assunzione di mangime (FI).

	D1	D2	D3	D4	D5
IBW	$11,3\pm 0,2$	$11,3\pm 0,2$	$11,3\pm 0,2$	$11,3\pm 0,2$	$11,3\pm 0,2$
FBW	$191,3\pm 3,2$	$197,9\pm 2,01$	$201,2\pm 6,1$	$192,1\pm 9,7$	$183,4\pm 4,5$
FCR	0,81	0,81	0,79	0,84	0,83
SGR	3,41	3,45	3,47	3,41	3,36
FI	$4171\pm 125,1$	$4231\pm 135,2$	$4264\pm 93,4$	$4176\pm 117,6$	$4166\pm 119,6$

Tabella n°4: Risultati della performance di accrescimento della prova di sostituzione della farina di pesce con farina con farina di BSCP; Fonte: Ruiz et al., 2023.

Dalla tabella n°4 si evince che: i giovanili di trota iridea alimentati con la dieta D3 (sostituzione del 50% di FM con BSCP) hanno mostrato *performance* di crescita migliori e avevano valori FCR più bassi rispetto alle altre diete. Questi risultati possono essere spiegati dall'elevato contenuto di nucleotidi, acidi nucleici e/o composti bioattivi nel BSCP (Sharif et al., 2021; Pereira et al., 2022) che possono favorire la crescita dei pesci. Pertanto, considerando queste informazioni, i ricercatori coinvolti in questa prova hanno stimato che il livello ottimale di sostituzione di FM con BSCP era del 42%.

### **13.PROTEINE ANIMALI TRASFORMATE (PAT)**

La ricerca e lo sviluppo di queste fonti proteiche alternative alla farina di pesce deriva sia dalla poca sostenibilità dell'utilizzo di quest'ultima che dai prezzi in aumento sempre della stessa. Inoltre, il sostituto considerato primario della farina di pesce, quindi le farine vegetali proteiche, presentano una serie di fattori negativi: queste diete a base di proteine vegetali sono spesso associate a ridotte prestazioni di crescita, assunzione di mangime e compromissione della salute e della funzione intestinale (Hardy, 2010; Krogdahl et al., 2010). Infatti, gli ingredienti proteici vegetali posseggono alcune caratteristiche, come un alto contenuto di carboidrati, carenza di alcuni aminoacidi essenziali (es. metionina, lisina e triptofano), bassa appetibilità e presenza di fattori anti-nutrizionali (Gatlin et al., 2007; Barrows et al., 2008), che ne limitano l'utilizzo nelle diete dei pesci carnivori. Inoltre, i prezzi relativamente elevati sul mercato globale e la concorrenza tra il settore dell'acquacoltura, il settore dell'allevamento degli animali, la produzione di biocarburanti e l'uso diretto per il consumo umano, rappresentano ulteriori vincoli all'uso di ingredienti proteici vegetali come sostituzione della farina di pesce (Karapanagiotidis, 2014). L'utilizzo delle proteine animali trasformate (PAT) è stato vietato nei paesi dell'Unione Europea con il regolamento (CE) n. 999/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 maggio 2001 recante disposizioni per la prevenzione, il controllo e l'eradicazione di alcune encefalopatie spongiformi trasmissibili, in particolare per la "BSE" una malattia neurodegenerativa mortale nei ruminanti, anche conosciuta come "morbo della mucca pazza". Suddetto divieto è stato istituito in particolare per evitare il contagio nell'uomo e negli animali, che avviene in prevalenza con l'assunzione di carni o farine, provenienti da animali infetti. Questo regolamento è stato pertanto rettificato dal regolamento (UE) 2021/1372 della commissione del 17 agosto 2021 che modifica l'allegato IV del regolamento (CE) n. 999/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda il divieto di somministrazione di proteine animali agli animali d'allevamento non ruminanti diversi dagli animali da pelliccia.

Le proteine animali trasformate (PAT), sono state attribuite a questo nome, dopo l'entrata in vigore del Regolamento (CE) 1774/2002 recante norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano. Prima di questo regolamento erano conosciute come farine di carne e ossa (MBM). Ad oggi le PAT, rappresentano un ottimo sostituto alla farina di pesce ed alle farine vegetali proteiche, in quanto, oltre a vantare una maggior sostenibilità dovuta al riutilizzo di questi prodotti derivanti da altri processi industriali,

possiedono valori nutrizionali ideali per soddisfare i fabbisogni delle specie ittiche carnivore allevate e possono includere proteine bilanciate e buoni profili di aminoacidi essenziali, con ulteriori macro e oligoelementi biodisponibili tra cui, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu (Moura et al., 2018). In particolare, il profilo degli aminoacidi essenziali nella farina di sottoprodotti del pollame risulta essere più conforme alla farina di pesce, consentendo così una miglior efficacia di sostituzione. La produzione di queste farine avviene nei cosiddetti impianti di rendering, dove i sottoprodotti di origine animale vengono lavorati e processati per poi essere trasformati da scarti/rifiuti di produzione a nutrienti da essere utilizzati nei mangimi. I sottoprodotti vengono riscaldati indirettamente utilizzando vapore ad alta pressione all'interno di tubi o dischi chiusi (*batch*), prodotto dalla combustione principalmente di combustibili fossili, come petrolio, carbone o gas naturale. Il calore prodotto fa evaporare l'acqua e sterilizza la biomassa totale, seguita dalla separazione della frazione solida (ricca di proteine) dalla fase liquida/grasso colato. Il materiale solido è un prodotto ad alto contenuto proteico, generalmente definito MBM, mentre il liquido è il grasso, comunemente definito sego (Woodgate et al., 2022).

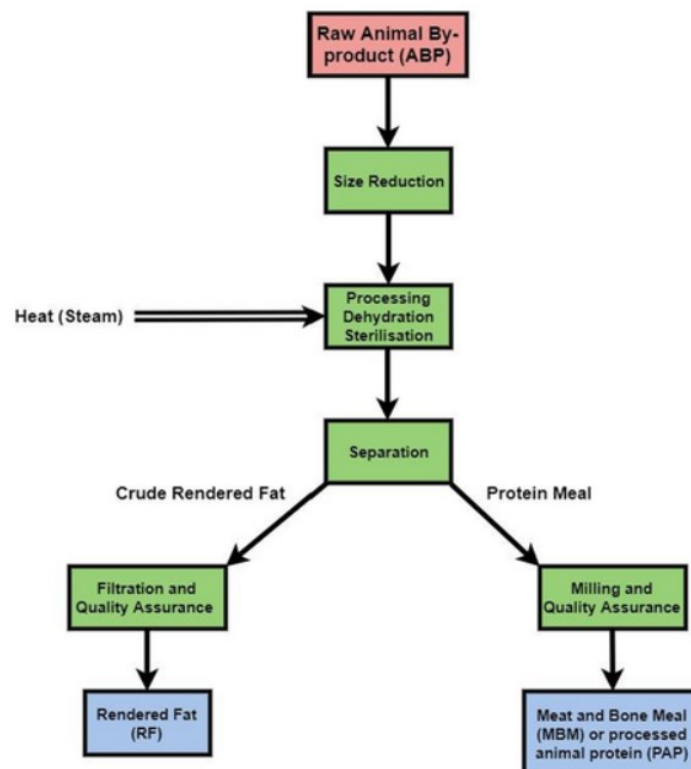


Figura n°22: Schema produttivo delle farine di carne e ossa (MBM) e delle proteine animali trasformate (PAT); Fonte: Woodgate et al., 2022

### 13.1 Prova di sostituzione della farina di pesce con farina di sottoprodotti di pollo: valutazione delle *performance* di crescita della trota iridea.

Un gruppo di ricercatori in Iran ha voluto testare gli effetti di cinque diverse diete con livelli graduali di sostituzione della farina di pesce (FM) con farina derivante da sottoprodotti di pollo (PBM) sulle *performance* di crescita della specie trota iridea.

In Iran, più precisamente a Yasouj, sono state valutate le *performance* di cinque diverse diete sulla crescita delle trote iridee. Le diete utilizzate avevano lo stesso contenuto lipidico (19%) e lo stesso contenuto proteico (40%) ma diverse formulazioni, con percentuali crescenti di farina derivante da sottoprodotti di pollo (rispettivamente il 25, 50, 75 e 100%), in sostituzione alla farina di pesce, che invece era presente in esclusiva nella dieta di controllo. Queste sono state nominate in base alla quantità farine di sostituzione presente, rispettivamente PBM0, PBM25, PBM50, PBM75 e PBM100, ogni dieta è stata estrusa e fatta passare da una trafilatura di diametro di 2 mm e l'essiccamento è avvenuto a temperatura ambiente, nella tabella n°5 i rispettivi ingredienti e le % degli stessi inclusi nelle diete.

ingredienti	Controllo	PBM25	PBM50	PBM75	PBM100
Farina di pesce (%)	53	39,75	26,5	13,25	
Farina di sottoprodotti del pollame (%)	0	13,25	26,5	39,75	53
Farina di soia (%)	20	20	25	29	30
Farina di frumento(%)	10	13	10	8	9
Olio di pesce(%)	15	12	10	8	5
Legante (%) <sup>1</sup>					1
Premiscela vitaminica (%) <sup>2</sup>	1	1	1	10,5	0,5
Premiscela minerale(%) <sup>3</sup>	0,5 0,5	0,5 0,5	0,5 0,5	0,5	0,5
Composizione prossima					
Proteina cruda (%)	42.20	40,62	40.48	40,40	39.08
Lipidi grezzi (%)	19.01	18,55	19.17	19,77	19.35
Energia kcal/kg	3639.4	3650,21	37.3.6	3759,2	3765.6

Tabella n°5: Ingredienti % delle diete: PBM0, PBM25, PBM50, PBM75 e PBM100; Fonte:

Baboli et al., 2013

La prova è stata eseguita su 375 giovanili di trota iridea, i quali sono stati fatti acclimatare per un periodo di due settimane ed alimentati tutti con la stessa dieta commerciale. Successivamente i pesci sono stati pesati e misurati individualmente, riportando un peso iniziale di circa (23±4g), e suddivisi in maniera casuale in 15 vasche in fibra di vetro da 300 litri l'una. In ogni vasca era presente un flusso di acqua continuo che garantiva il ricambio di 2 litri al minuto, la temperatura dell'acqua nelle vasche era di 10,5°C, il PH era di 7,6/7,8, e l'ossigeno disciolto era di 9,5/10,5 mg/l. Le diete sono state suddivise causalmente tra le vasche, con 3 vasche in replicato per ogni dieta; il periodo della prova di alimentazione è stato di 10 settimane, dove la razione giornaliera è stata suddivisa in due pasti, uno alle 9:00 ed il secondo alle 15:00; la razione alimentare è stata modificata ogni due settimane, in base alla crescita dei pesci, per poter garantire un livello di sazietà, senza mai raggiungere l'over feeding. Alla fine della prova sperimentale della durata di 10 settimane, i pesci precedentemente anestetizzati sono stati pesati individualmente e tramite equazioni sono stati calcolati l'indice di conversione alimentare (FCR) e l'indice di accrescimento (SGR).

I risultati ottenuti sono stati descritti nella tabella n°6:

	PBM0	PBM25	PBM50	PBM75	PBM100
Peso iniziale (g)	27.33 <sup>c</sup>	27.96 <sup>d</sup>	24.53 <sup>b</sup>	23.46 <sup>a</sup>	28.96 <sup>e</sup>
Peso finale (g)	106.55 <sup>e</sup>	98.92 <sup>c</sup>	101.28 <sup>d</sup>	75.30 <sup>a</sup>	80.17 <sup>a</sup>
Incremento di peso (g)	79.17±6.12 <sup>a</sup>	70.96±12.99 <sup>a</sup>	76.75±3.85 <sup>a</sup>	51.84±1.06 <sup>b</sup>	51.20±4.03 <sup>b</sup>
SGR (%)	1.91± 0.12 <sup>a</sup>	1.79± 0.16 <sup>ab</sup>	2.03± 0.13 <sup>a</sup>	1.66± 0.04 <sup>ab</sup>	1.46± 0.21 <sup>b</sup>
FCR	1.12±0.04 <sup>a</sup>	1.20±0.14 <sup>a</sup>	1.07±0.02 <sup>a</sup>	1.57±0.02 <sup>b</sup>	1.55±0.07 <sup>b</sup>

Tabella n°6: Risultati della *performance* di accrescimento della prova di sostituzione della farina di pesce con farina con farina derivante da sottoprodotti di pollo; Fonte : Baboli et al., 2013.

Dall'analisi dei dati ottenuti è stato evidenziato un peggior incremento di peso nelle diete in cui la sostituzione della farina di pesce con la farina di sottoprodotti di pollo è stata del 75 e 100%, mentre la sostituzione che ha avuto le migliori *performance* è stata quella del 50%, dove il tasso di crescita (SGR) è stato buono senza differenze significative. Inoltre, l'FCR della dieta PBM 50 è stato il migliore delle diete testate, compresa la dieta di controllo. Questo studio ha dato come risposta finale la possibilità di poter sostituire per almeno il 50% la farina di pesce con la farina di sottoprodotti del pollo.

## 14. DISCUSSIONE

I risultati emersi dalle diverse prove di sostituzione della farina di pesce sulle *performance* di accrescimento della trota iridea, hanno evidenziato la possibilità di sostituzione di questo ingrediente - considerato fondamentale per l'apporto proteico - e di amminoacidi essenziali nell'alimentazione di questa specie con varie fonti proteiche alternative. Queste fonti alternative hanno anche dimostrato una maggior sostenibilità del loro processo produttivo rispetto a quello utilizzato per la produzione di farina di pesce e della farina di soia, quest'ultima considerata come principale sostituto della farina di pesce. Infatti, per la produzione della farina di insetti, il processo produttivo per ottenere la materia prima rispetto alla quantità finale di proteine ottenute, è di gran lunga più sostenibile rispetto ai processi per ottenere la farina di pesce o la farina di soia, soprattutto in termini energetici, sfruttamento del suolo e delle risorse naturali. Per quanto riguarda invece la farina di *Single-Cell-Protein* batteriche, il processo di fermentazione e successive lavorazioni richiede sicuramente l'utilizzo di macchinari specifici che a loro volta utilizzeranno molta energia; pur tuttavia l'effetto negativo viene tamponato dalla provenienza della risorsa trofica che permette la crescita dei batteri (si tratta di scarti di lavorazioni agroalimentari piuttosto che da scarti di biocombustibili), dalla velocità di produzione di questo tipo di materia prima e dall'indipendenza dai fattori ambientali. Lo stesso discorso può essere applicato anche alla farina derivante dalla lavorazione degli scarti animali esclusi i ruminanti (PAT). In questo ambito la farina che ha avuto maggior successo nella sostituzione della farina di pesce di pesce è quella derivante dagli scarti della lavorazione del pollo, in quanto il suo profilo amminoacidico si avvicina molto al profilo di amminoacidi contenuti nella farina di pesce. Così facendo, gli scarti di lavorazione derivanti da animali di allevamento, in buono stato sanitario, vengono prodotte delle proteine da reintegrare negli alimenti, sempre prestando attenzione a non integrare nei mangimi proteine animali derivanti dalla stessa specie alla quale viene poi somministrata la proteina ottenuta.

Da quello che si evince dagli studi specifici presentati e discussi nella presente tesi, si fa sempre più strada l'ipotesi di produrre un'alimentazione sostenibile al fine di ottenere un'acquacoltura sostenibile.



## SITOGRAFIA

- <https://adriaticnature.com/archives/3640>
- <https://www.agraria.org/pesci/trotairidea.htm>
- [https://www.aquariumofpacific.org/onlinelearningcenter/species/southern\\_california\\_s\\_teelhead](https://www.aquariumofpacific.org/onlinelearningcenter/species/southern_california_s_teelhead)
- <https://deltadelpo.eu/it/78-gallery>
- <https://fishbehaviour.weebly.com/trout-behaviour.html>
- <https://www.hellofish.it/it/acquacoltura-una-storia-che-parla-tutte-le-lingue-del-mondo-5>
- <https://www.hellofish.it/it/lallevamento-delle-trote-eccellenza-dellacquacoltura>
- <https://www.izsvenezie.it/documenti/comunicazione/materiale-editoriale/1-comunicazione-scientifica/appunti-scienza/acquacoltura.pdf>
- [https://nfdb.gov.in/PDF/03\\_TCR%20Brochure\\_Eng.pdf](https://nfdb.gov.in/PDF/03_TCR%20Brochure_Eng.pdf)
- [https://www.parcodeltapo.it/it/gallery\\_dettaglio.php?id=3191](https://www.parcodeltapo.it/it/gallery_dettaglio.php?id=3191)
- <https://www.resinextrad.com/it/maxi-gabbie-per-lacquacoltura-offshore/>
- <https://www.romanoimpero.com/2012/11/vivaria-romani.html>
- <https://scubla.it/it/industria-ittica/acquacoltura-laghi-biopiscine/vasche-e-incubazione/vasche-cilindriche-a-fondo-piano/>
- [https://scubla.it/it/industria-ittica/progettazione-e-costruzione-impianti/progettazione-costruzione-impianti/allevamenti-di-ingrasso-per-pesci-molluschi-e-crostacei/#iLightbox\[product-gallery\] /2](https://scubla.it/it/industria-ittica/progettazione-e-costruzione-impianti/progettazione-costruzione-impianti/allevamenti-di-ingrasso-per-pesci-molluschi-e-crostacei/#iLightbox[product-gallery] /2)
- <https://scubla.it/it/industria-ittica/progettazione-e-costruzione-impianti/progettazione-costruzione-impianti/impianti-di-acquacoltura-a-ricircolo/>
- <https://scublacompany.com/progetti-realizzati/impianti-a-ricircolo/>
- <https://thefishsite.com/articles/cultured-aquaculture-species-rainbow-trout>
- <https://www.wildtrout.org/content/rainbow-trout>

## BIBLIOGRAFIA

Aas, Turid Synnøve; Åsgård, Torbjørn; Ytrestøyl, Trine. Utilization of feed resources in the production of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Norway in 2020. *Aquaculture Reports*, 2022, 26: 101317.

Avault, James W. *Fundamentals of aquaculture: a step-by-step guide to commercial aquaculture*. AVA Pub. Co., 1996.

Baboli, Mehran Javaheri, et al. Effect of replacement fish meal by poultry meal on growth, survival and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 2013, 5.3: 296-300.

Barange, Manuel, et al. Habitat expansion and contraction in anchovy and sardine populations. *Progress in Oceanography*, 2009, 83.1-4: 251-260.

Barrows, Frederic T., et al. Report of the plant products in aquafeed strategic planning workshop: an integrated, interdisciplinary research roadmap for increasing utilization of plant feedstuffs in diets for carnivorous fish. *Reviews in Fisheries Science*, 2008, 16.4: 449-455.

Belforti, Marco, et al. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 2015, 14.4: 4170.

Bratosin, Bogdan Constantin; Darjan, Sorina; Vodnar, Dan Cristian. Single cell protein: A potential substitute in human and animal nutrition. *Sustainability*, 2021, 13.16: 9284.

Crespi, Valerio; New, Michael. *Cultured aquatic species fact sheets*. FAO, 2009.

De Cruz, C. R., et al. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 199: 137-145.

De Moura, L. B., et al. Availability of minerals in rendered meat and bone meal for Nile tilapia: Preliminary observations. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24.3: 991-997.

Dethlefsen, Markus Wied, et al. Effect of storage on oxidative quality and stability of extruded astaxanthin-coated fish feed pellets. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, 221: 157-166.

Döös, Bo R. Population growth and loss of arable land. *Global Environmental Change*, 2002, 12.4: 303-311.

Gatalin III, Delbert M., et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture research*, 2007, 38.6: 551-579.

Hardy, Ronald W. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture research*, 2010, 41.5: 770-776.

Hasan, M. R. (2001). Nutrition and Feeding for Sustainable Aquaculture Development in the Third Millennium. *Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*, 2001, 193–219.

Hilton, J. W.; Slinger, S. J. Nutrition and feeding of rainbow trout. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1981, 55: 1-15.

Hinshaw, J. M. (1990). Trout production: feeds and feeding methods. *SRAC publication (USA)*.

Hodar, A. R., et al. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. *Journal of Experimental Zoology India*, 2020, 23.1.

Hoitsy, György, et al. Guide to the small scale artificial propagation of trout. *Budapest: FAO*, 2012, 22.

Jannathulla, Rajabdeen, et al. Fishmeal availability in the scenarios of climate change: Inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture Research*, 2019, 50.12: 3493-3506.

John, Rojan P., et al. Micro and macroalgal biomass: a renewable source for bioethanol. *Bioresource technology*, 2011, 102.1: 186-193.

Kadim, Isam T., et al. Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14.2: 222-233.

Karapanagiotidis, Ioannis T. The Re-Authorization of Non-Ruminant Processed Animal Proteins in European Aqua feeds. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 2020, 11.5: 1a-1a.

Klontz, George W. *A manual for rainbow trout production on the family-owned farm*. Thomas Nelson & Sons, 1991.

Krogdahl, Åshild, et al. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture research*, 2010, 41.3: 333-344.

Lazarev, V. I., et al. The Sources of Income and the Dynamics of Heavy Metals in the Soil of Different Agro-Ecosystems with Their Long-Term Agricultural Use. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. p. 062030.

Ljungqvist, Martin Georg, et al. Multispectral image analysis for robust prediction of astaxanthin coating. *Applied Spectroscopy*, 2013, 67.7: 738-746.

Lucas, John S.; Soutghate, Paul C.; Tucker, Craig S. (ed.). *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants*. John Wiley & Sons, 2019.

Marc, A. B. A.; Lukey, M. J.; Cerione, R. A. The state of world fisheries and aquaculture-meeting the sustainable development goals. *Rome, Italy: Food and Agriculture Organization*, 2018.

Merrifield, Daniel L., et al. Dietary effect of soybean (*Glycine max*) products on gut histology and microbiota of fish. *Soybean and nutrition*, 2011, 231-250.

Muhlfléd, Clint C., et al. Global status of trout and char: Conservation challenges in the twenty-first century. *Trout and char of the world*, 2019, 717-760.

Papatryphon, Elias; Soares JR, Joseph H. Optimizing the levels of feeding stimulants for use in high-fish meal and plant feedstuff-based diets for striped bass, *Morone saxatilis*. *Aquaculture*, 2001, 202.3-4: 279-288.

Pastorino, Paolo; Scanzio, Tommaso; Prearo, Marino. Salmonids: systematic, breeding and diseases. First part – Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), 2015.

Pereira, Antia G., et al. Single-cell proteins obtained by circular economy intended as a feed ingredient in aquaculture. *Foods*, 2022, 11.18: 2831.

Ponomarev, A. K., et al. Hydrochemical Parameters Of Growing Trout On Water From An Artesian Well. *European Proceedings of Life Sciences*.

Pulcini, Domitilla, et al. Muscle pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets rich in natural carotenoids from microalgae and crustaceans. *Aquaculture*, 2021, 543: 736989.

Ramos-Elorduy, Julieta, et al. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of economic entomology*, 2002, 95.1: 214-220.

Ravi, C.; Jeyashree, A.; Devi, K. Renuka. Antimicrobial peptides from insects: an overview. *Research in biotechnology*, 2011, 2.5.

Ruiz, Alberto, et al. Single cell protein from methanotrophic bacteria as an alternative healthy and functional protein source in aquafeeds, a holistic approach in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. *Aquaculture*, 2023, 576: 739861.

Rumpold, Birgit A.; Schlüter, Oliver K. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013, 17: 1-11.

Sharif, Muhammad, et al. Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. *Aquaculture*, 2021, 531: 735885.

Shepherd, C. J.; Jackson, A. J. Global fishmeal and fish-oil supply: inputs, outputs and markets. *Journal of fish biology*, 2013, 83.4: 1046-1066.

Subasinghe, Rohana; Soto, Doris; JIA, Jiansan. Global aquaculture and its role in sustainable development. *Reviews in aquaculture*, 2009, 1.1: 2-9.

Tacon, Albert GJ; Metian, Marc. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 2008, 285.1-4: 146-158.

Tacon, Albert GJ; Metian, Marc. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 2008, 285.1-4: 146-158.

Turchini, Giovanni M.; Torstensen, Bente E.; NG, Wing-Keong. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 2009, 1.1: 10-57.

Van Huis, Arnold, et al. *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Food and agriculture organization of the United Nations, 2013.

Van Huis, Arnold. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, 2013, 58: 563-583.

Webster, Carl D.; Lim, Chhorn (ed.). *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. CABI publishing, 2002.

Woodgate, Stephen L., et al. The utilisation of European processed animal proteins as safe, sustainable and circular ingredients for global aquafeeds. *Reviews in Aquaculture*, 2022, 14.3: 1572-1596.

Zhao, Wei, et al. Comparison of the retention rates of synthetic and natural astaxanthin in feeds and their effects on pigmentation, growth, and health in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Antioxidants*, 2022, 11.12: 2473.