



VERSO NUOVI MANGIMI PER L'ACQUACOLTURA SOSTENIBILE

Una guida per gli acquacoltori
e per il settore mangimistico



FONDAZIONI IN RETE
PER LA RICERCA
AGROALIMENTARE



Realizzato con il sostegno di

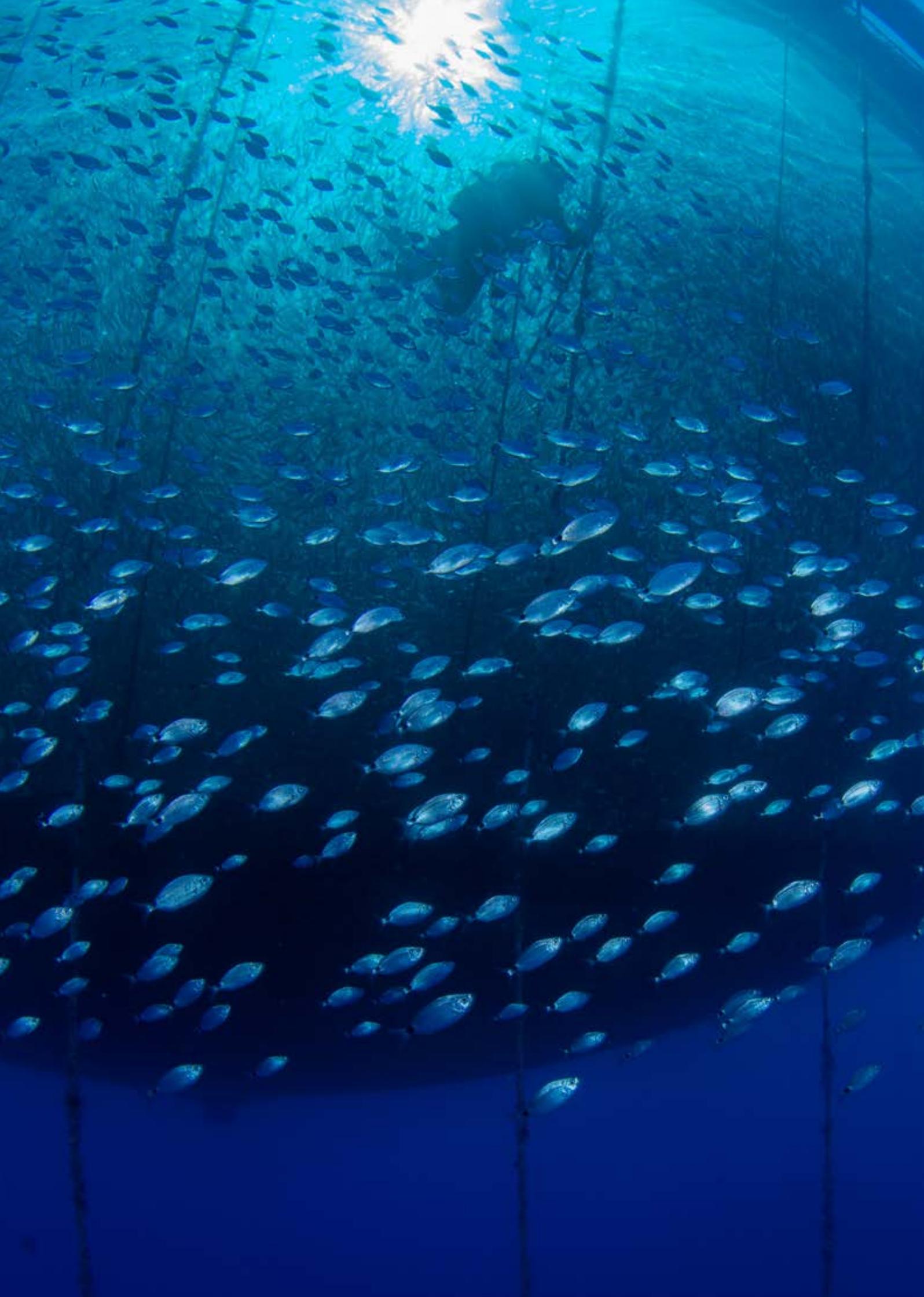


Citazione richiesta

Verso nuovi mangimi per l'acquacoltura sostenibile. Una guida per gli acquacoltori e per il settore mangimistico, Milano 2021

Sommario

Introduzione	2
Il team di ricerca	5
Università degli Studi dell'Insubria	5
Università degli Studi di Torino	5
Università degli Studi di Milano-Bicocca	5
Università degli Studi di Sassari	5
Consorzio Italbiotec	5
Porto Conte Ricerche	6
La strategia e le linee di ricerca	7
Le fasi sperimentali	9
Identificazione di integratori proteici e calorici nelle diete	9
Identificazione di proteine alternative alla farina di pesce	9
Test sperimentali con i nuovi mangimi	9
Sostenibilità e qualità del pesce allevato	10
I risultati	11
Validità delle formulazioni a base di fonti proteiche alternative alle tradizionali	11
Qualità nutrizionale del pesce allevato	12
Benessere animale e performance di crescita	12
Sostenibilità ambientale delle produzioni	13
Sostenibilità economica delle produzioni	14
Qualità delle produzioni	15
Conclusioni	16



Introduzione

In Italia il settore dell'acquacoltura rappresenta un'eccezione a livello mondiale, con oltre 800 impianti e un volume annuo di 140 mila tonnellate, contribuendo a circa il 40% della produzione ittica nazionale e al 30% della domanda di prodotti ittici freschi.

Le sfide connesse al soddisfacimento del fabbisogno alimentare di una popolazione in continua crescita hanno aperto il dibattito circa l'uso sostenibile delle risorse, gli impatti ambientali, la conservazione della biodiversità e dei servizi ecosistemici.

Dato il grande impatto dell'acquacoltura sul sistema economico e produttivo del Nostro Paese, il presente report restituisce una sintesi dei più significativi risultati ottenuti dalle attività di ricerca svolte dal progetto di ricerca [Fine Feed For Fish - 4F](#), incoraggiando potenziali acquacoltori e produttori di mangimi ad adottare formulazioni ambientalmente ed economicamente sostenibili e ponendo sempre più attenzione alla salute e al benessere delle specie ittiche allevate.

L'acquacoltura è uno dei più efficienti sistemi di produzione animale in termini di domanda di biorisorse e generazione di impatti sull'ambiente e sulle performances, tuttavia nuovi modelli di produzione sono necessari per assicurarne uno sviluppo sostenibile.

Nella tradizionale formulazione di mangimi per pesci carnivori, il contenimento dei costi è supportato dalla sostituzione di farina e olio di pesce con fonti proteiche e oleose di origine vegetale. I pesci reagiscono modificando risposta produttiva, qualità, aumentando morbilità e impatto ambientale.

In questo contesto, [Fine Feed For Fish](#) è un progetto di ricerca triennale per alimentare con nuovi mangimi branzino, orata e trota iridea, le tre più importanti e diffuse specie ittiche allevate in Italia. Scopo della ricerca è quello di trovare sorgenti proteiche alternative alla farina di pesce in grado di garantire l'ottimale crescita del pesce allevato con un alto valore nutrizionale e rispettoso dei requisiti di qualità e sicurezza alimentare che il consumatore richiede, nonché di ridurre costi di produzione e impatto ambientale.

Il progetto [Fine Feed For Fish](#) intende offrire una soluzione alternativa basata sulla sperimentazione di nuove diete a base di farine vegetali, addizionate con farina di insetti e sottoprodotti della macellazione degli avicoli, addizionate con integratori proteici e calorici, in grado di garantire una crescita ottimale del pesce allevato. In particolare, il progetto 4F è focalizzato sul validare nuove formulazioni mediante:

- Identificazione di nuove fonti proteiche alternative alla farina di pesce
- Studio degli effetti di integratori proteici e calorici
- Valutazione degli effetti delle nuove diete sulla qualità nutrizionale e benessere del pesce allevato
- Valutazione bioeconomica e ambientale dell'intero processo produttivo, supportando il comparto ittico nell'adozione di soluzioni ecocompatibili ed economicamente vantaggiose.

Il progetto [Fine Feed For Fish](#) gode del supporto finanziario di [AGER - Agroalimentare e Ricerca](#), un'associazione formata da sedici Fondazioni di origine bancaria che sostengono la ricerca scientifica di eccellenza a favore dell'agroalimentare italiano.

Data l'importanza dell'acquacoltura quale settore strategico per l'agroalimentare Made in Italy, AGER ha destinato 1,5 milioni di euro per supportare lo sviluppo di un'acquacoltura economicamente e ambientalmente sostenibile per i produttori e in grado di offrire ai consumatori pesci sani e di qualità.

Grazie ad avanzate tecniche di indagine, i team di ricerca coinvolti hanno valutato l'incidenza dei nuovi mangimi sui processi digestivi del pesce ed hanno studiato l'adattamento di un nuovo ceppo di trota geneticamente selezionato proveniente dagli Stati Uniti.



Il team di ricerca

Università degli Studi dell'Insubria

L'Unità di ricerca in Scienze e Tecnologie degli Animali - Dipartimento di Biotecnologie e Scienze della Vita (DBSV) è specializzata in studi multidisciplinari sull'acquacoltura, con un approccio fisiologico-zootecnico, molecolare, biotecnologico. L'attività è focalizzata sul benessere nutrizionale del pesce, sulla fisiopatologia, sulla nutrigenomica e sul controllo del microbiota intestinale. L'unità è dotata di un impianto pilota con dodici vasche in ricircolo, è in grado di lavorare con acqua dolce o salmastra, acquari, un tunnel metabolico per i test di nuoto sul pesce, laboratori di analisi molecolari, microbiologiche, istologiche, e ematologiche.

Università degli Studi di Torino

Il Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA) è specializzato sul migliorare le produzioni animali e vegetali, fresche e trasformate, e sullo studio del loro impatto sul territorio e l'ambiente. Un impianto sperimentale di acquacoltura, attrezzato per la formulazione dei mangimi, consente prove di accrescimento e digeribilità e laboratori per analisi sugli alimenti e sensoriali.

Università degli Studi di Milano-Bicocca

Lo ZooPlantLab® svolge ricerca di base e applicata integrando zoologia e botanica. Si occupa di biodiversità, monitoraggio della qualità delle acque, dei suoli e dell'aria, studiando le interazioni tra parassiti e ospiti e la tracciabilità dei prodotti alimentari, attraverso lo studio del DNA.

Università degli Studi di Sassari

Il gruppo degli economisti agrari del Dipartimento di Agraria (DIA) si occupa degli aspetti economici, politici, gestionali e finanziari nei settori agricolo, agro-industriale, agro-alimentare, ittico e selvicoltura. Studia nuovi modelli organizzativi, gestionali e di mercato per sostenere la pesca e l'acquacoltura, fornendo dati e informazioni per la governance del settore.

Consorzio Italbiotec

Il Consorzio Italbiotec unisce senza scopo di lucro quindici università italiane, il Consiglio nazionale delle Ricerche e oltre 50 piccole, medie e grandi imprese attive nel settore delle biotecnologie industriali. Si occupa di Ricerca, Formazione e Sviluppo d'impresa nel settore biotech supportando il trasferimento tecnologico nelle aree farmaceutica, biomedica, chimica, agroalimentare, ambientale ed energetica.

Porto Conte Ricerche

Porto Conte Ricerche, ente senza scopo di lucro, è specializzato nello studio dell'alimentazione e della crescita dei pesci allevati in mare grazie ad un impianto pilota con nove vasche più quattro camere metaboliche dove si possono eseguire sia studi di crescita che di digeribilità dei mangimi.



La strategia e le linee di ricerca

Il progetto Fine Feed For Fish mira alla messa a punto di diete ottimizzate per branzino e trota basate sull'apporto di aminoacidi essenziali, quali lisina e metionina e di taurina, quindi l'inclusione di fonti proteiche non convenzionali con lo scopo di migliorare lo stato sanitario, la crescita e la qualità del pesce e di ridurre costi di produzione e l'impatto ambientale.

Il piano sperimentale si fonda su tre fasi:

1. [Analisi e validazione dei dati in laboratorio](#)
2. [Sperimentazione e messa a punto delle diete in un impianto pilota](#)
3. [Validazione e produzione delle nuove diete su scala industriale](#)

A seguito della somministrazione di nuove diete, Fine Feed For Fish valuta:

- [Parametri produttivi e loro impatto economico per l'allevatore](#)
- [Stato sanitario del pesce allevato](#)
- [Aspetti qualitativi per il consumatore \(salubrità, qualità nutrizionale\)](#)
- [Impatto ambientale dell'allevamento](#)

L'acquacoltura rappresenta un settore in grande espansione ed è spesso oggetto di interventi tecnologici che mirano ad implementare l'efficienza delle produzioni e la qualità dei prodotti ittici anche in risposta alle esigenze del mercato. La sostenibilità di un allevamento ittico rappresenta per l'acquacoltura moderna un aspetto essenziale, ma al tempo stesso complesso, in quanto richiede l'integrazione di più fattori, da quelli economici e sociali agli elementi ambientali.

Grazie all'expertise tecnologicamente avanzate e complementari dei diversi gruppi di ricerca, sono state eseguite metodologie zootecniche, economico-ambientali e tecniche di nutrigenomica, proteomica, metabolomica.

Nel rispetto dei principi stabiliti dalla RRI (Ricerca e Innovazione Responsabile), sono state create reti di formazione, informazione e divulgazione, favorendo il coinvolgimento di giovani ricercatori.

Grazie ad un'accurata pianificazione di azioni e strumenti necessari al coinvolgimento degli stakeholders, la comunicazione ha rivestito un ruolo centrale nel progetto [Fine Feed For Fish](#), consentendo la diffusione capillare di oltre [50 articoli divulgativi](#) volti ad approfondire i temi della sostenibilità in acquacoltura e di oltre [18 pubblicazioni](#) su riviste scientifiche peer-reviewed, dedicate ad illustrare e condividere i risultati ed i progressi del progetto con la comunità scientifica.

La partecipazione a numerosi congressi, convegni e fiere di taglio nazionale ed internazionale ha permesso la diffusione degli intenti del progetto con mangimisti, allevatori, economisti agrari e ricercatori provenienti da tutto il mondo.

Con l'obiettivo di incoraggiare il coinvolgimento di giovani ricercatori nelle attività di progetto, è stata organizzata la [Summer School "Acquacoltura e Sostenibilità"](#) dedicata ad affrontare tematiche e sfide della moderna acquacoltura.





L'evento di formazione, aperto a studenti, ricercatori e professionisti del settore, ha visto la combinazione di lezioni frontali, attività pratiche di laboratorio e visite guidate agli impianti di acquacoltura ed ha abbracciato diversi temi: la produzione di mangimi innovativi per la nutrizione del pesce allevato, temi di ittiopatologia, l'impatto ambientale e gli aspetti economici dell'acquacoltura, nonché un'analisi di come le fake news e la disinformazione influenzino il settore dell'acquacoltura.

Le lezioni tenute dai partner, insieme alle interviste condotte durante il progetto e ad una serie di webinar dedicati ad approfondire i maggiori temi del progetto, sono racchiuse all'interno del canale YouTube di Consorzio Italbiotec e del progetto AGER¹, che si è occupato di coordinare tutte le attività di comunicazione e disseminazione, al fine di favorire la creazione di una rete di diffusione dei risultati di **Fine Feed For Fish**, rendendoli disponibili a tutti gli stakeholders interessati.

¹ 4F Summer School Lessons: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLI2uNVw5doXLS8GLHKutZLIJST4yxr0D>
4F. Acquacoltura e Sostenibilità: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLI2uNVw5doXIOyPGTi55AZVNbAhetfgD4>
Progetto AGER https://www.youtube.com/channel/UCuPOd9m_5LWBzFTotNXkwRA/featured



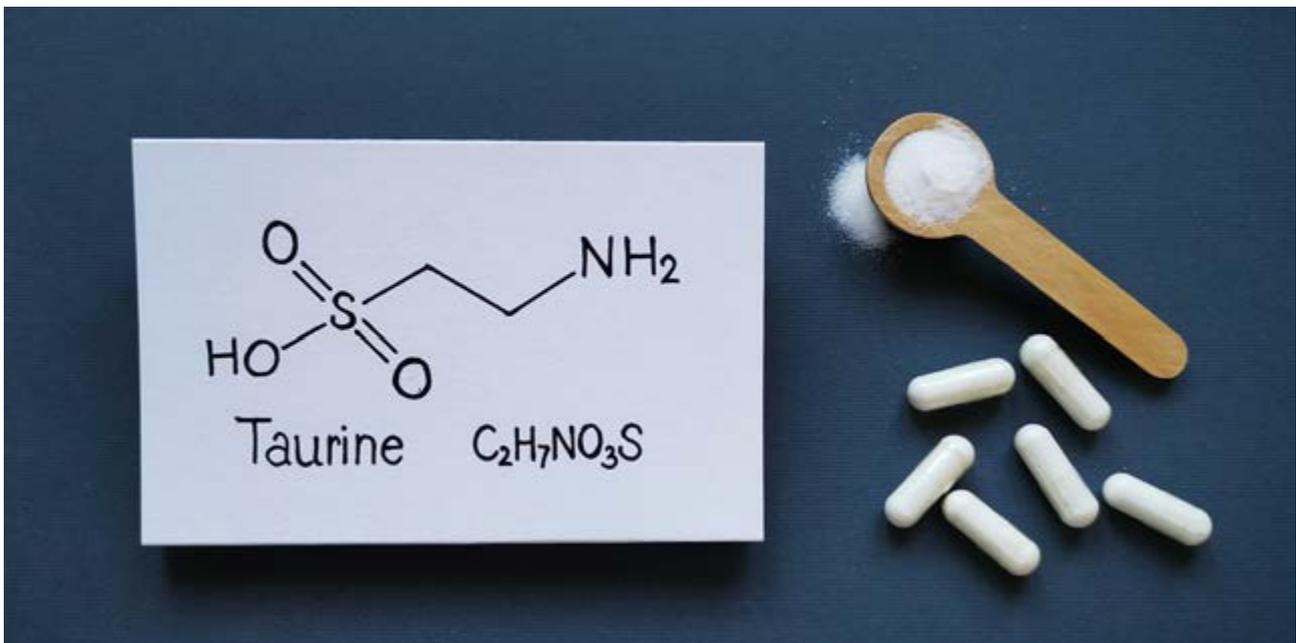


Le fasi sperimentali

Identificazione di integratori proteici e calorici nelle diete

Fase coordinata dall'Università degli Studi dell'Insubria, si fonda sulla messa a punto di prove sperimentali in piccola scala relative all'integrazione di aminoacidi essenziali (lisina e metionina), taurina e acidi grassi a catena corta, come l'acido butirrico e le sue forme chimiche, in nuove formulazioni mangimistiche, con l'obiettivo di identificarne la migliore forma e quantità ed ottimizzarne l'assorbimento e l'efficienza nelle diete.

Le attività mirano a favorire la crescita e la qualità di trota iridea e orata, alimentate con fonti proteiche alternative alla farina di pesce, valutando le condizioni di benessere nutrizionale del pesce allevato, raccogliendo informazioni preliminari rispetto a potenziali interventi per la riduzione dei costi di integrazione e minimizzazione dell'impatto ambientale e fornendo indicazioni preliminari ai produttori di mangimi.



Identificazione di proteine alternative alla farina di pesce

Fase coordinata dall'Università degli Studi di Torino, mira all'identificazione di fonti proteiche alternative alla farina di pesce da utilizzare nei mangimi destinati all'acquacoltura. Gli studi, eseguiti in impianti su scala pilota su branzino e trota iridea, hanno previsto l'utilizzo di mangimi prodotti a livello sperimentale (cold pellet) e mangimi estrusi da un'azienda specializzata nella formulazione di mangimi sperimentali per acquacoltura. Le prove contribuiscono a identificare le percentuali di sostituzione della farina di pesce con fonti proteiche alternative basate sull'utilizzo di proteine vegetali, farina di insetto (farine di larve di *Tenebrio molitor* e *Hermetia illucens*) e sottoprodotti della macellazione degli avicoli. Lo studio ha incluso l'analisi dell'adattamento di un nuovo ceppo di trota importato dagli Stati Uniti (Idaho) nei nostri ambienti e geneticamente selezionato rispetto al ceppo allevato in Italia.

Tenendo in considerazione la nota carenza di alcuni aminoacidi essenziali quali lisina, metionina, arginina e triptofano nelle farine di insetto e delle altre fonti proteiche alternative, è stata posta particolare attenzione al corretto bilanciamento in aminoacidi essenziali, aggiungendoli adeguatamente alle diete.



Test sperimentali con i nuovi mangimi

Fase coordinata dall'Università degli Studi dell'Insubria, mira alla validazione in scala aziendale, delle formulazioni ottimali ottenute nelle attività precedenti confrontandole con le attuali in commercio. Tutti i nuovi mangimi sono stati preparati attraverso un processo industriale presso NaturAlleva per trota iridea e spigola europea, in condizioni di allevamento e integrate da una valutazione comparativa dei parametri ambientali ed economici di tutte le diete. Durante questa fase, alcune aziende (Fattoria del Pesce S.r.l.) hanno contribuito alla sperimentazione, mettendo a disposizione la loro struttura di allevamento e consentendo la raccolta dei dati necessari al progetto.

L'acquisizione di nuove informazioni di base relative al metabolismo dei pesci e alle esigenze nutrizionali, nonché gli eventuali effetti delle nuove diete sull'ecologia microbica intestinale, contribuisce allo studio del microbiota intestinale in risposta alle diverse diete, facendo luce sui cambiamenti metabolici funzionali che si verificano con diversi sostituti della farina di pesce e/o nutrienti aggiunti. I dati metagenomici e metaproteomici, oltre a fornire informazioni immediatamente applicabili per implementare la competitività dell'industria della produzione dei mangimi, hanno consentito la generazione di un database con nuovi biomarcatori per applicazioni professionali, nonché per ulteriori studi di ricerca di base e industriali volti a districare e caratterizzare il ruolo della genetica dei pesci e del microbiota intestinale.

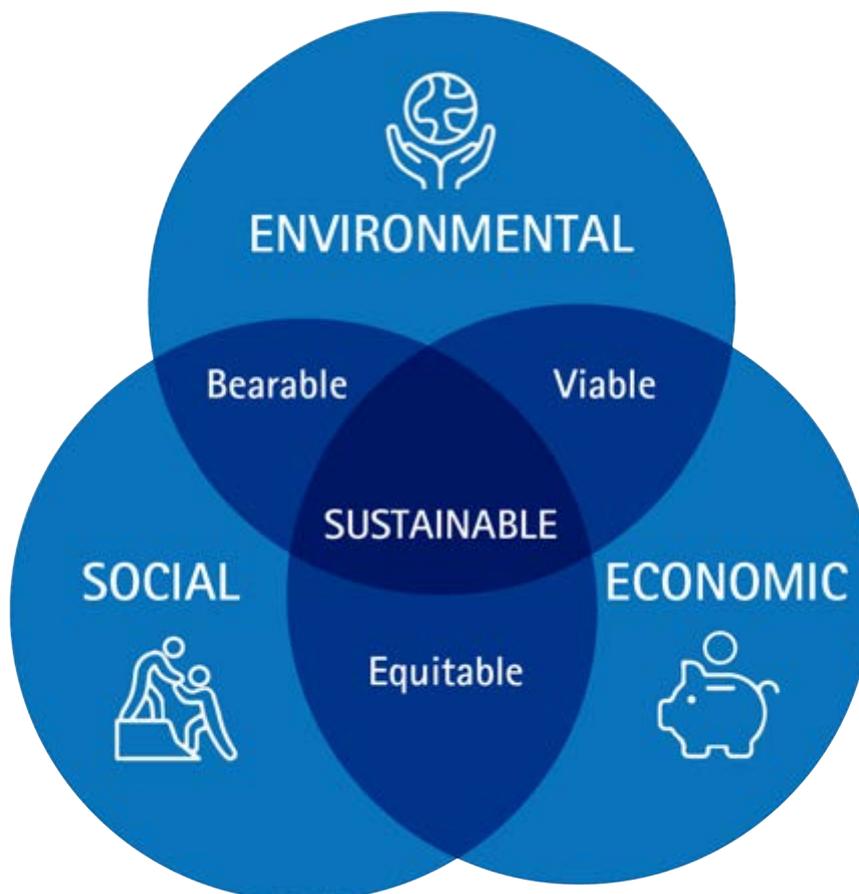


Sostenibilità e qualità del pesce allevato

I dati provenienti dalle attività precedenti sono stati elaborati al fine di fornire indicazioni rispetto alla sostenibilità economica ed ambientale e alla qualità del pesce dal punto di vista proteico e lipidico. L'Università degli Studi di Sassari ha effettuato analisi d'impatto delle nuove diete sulla performance economica degli allevamenti ittici, nonché la disponibilità del consumatore a riconoscere un premio per le caratteristiche di qualità dei prodotti.

L'Università degli Studi di Milano Bicocca ha condotto una valutazione del valore ecologico della formulazione dei mangimi, considerando sia costi legati all'approvvigionamento del mangime da aziende esterne sia i costi legati alla produzione dello stesso. Uno studio di Life Cycle Assessment (LCA), considerando il caso studio derivante dalla creazione di mangimi contenenti farine di insetto, ha consentito di stimare i consumi, gli impatti ambientali, nonché comparare la farina di insetto con le formulazioni convenzionali. Scopo dell'attività è quello di definire indici di "qualità" dell'ecosistema acquatico, indagando il microbioma dell'acqua delle vasche di allevamento, al fine di valutarne l'evoluzione nel tempo, la risposta in seguito all'ingresso di nuovi mangimi e in ultimo gli effetti sull'ambiente e sul pesce allevato. Infatti, sono state messe a punto diverse strategie per la caratterizzazione di batteri ambientali delle acque attraverso analisi metagenomica applicando tecniche di sequenziamento del DNA HTS (high-throughput DNA sequencing, anche detti NGS, Next Generation Sequencing) e per l'isolamento di ceppi batterici ambientali. La valutazione della qualità dell'ecosistema acquatico in cui i pesci vengono allevati, abbinata al valore di "sostenibilità economica e sociale" del mangime, consentirà alle imprese di compiere scelte di investimento di trasferimento tecnologico e di scegliere la strategia migliore per l'acquacoltura del futuro.

L'analisi della qualità del prodotto, guidata da Porto Conte Ricerche, mira alla valutazione della qualità lipidica del pesce in base sia al profilo lipidico tradizionale (contenuto di acidi grassi) sia a quello più completo (classi lipidiche, acidi grassi liberi, colesterolo, lipidi ossidati). L'elaborazione dei profili lipidici, la conoscenza degli effetti funzionali delle diete sul metabolismo dei pesci e sulla loro fisiologia, ha consentito di evidenziare le caratteristiche di qualità e scoprire nuovi indicatori da monitorare al fine di selezionare le materie prime per la formulazione di mangimi di qualità.





I risultati

Negli ultimi anni è stato fatto un notevole sforzo per identificare nuove materie prime proteiche da usare come alternativa alla farina di pesce nei mangimi destinati all'acquacoltura. Nuovi ingredienti devono assicurare ottimi accrescimenti garantendo il benessere e la salute dei pesci. Recenti studi dimostrano infatti come sia le farine provenienti da sottoprodotti della lavorazione avicola, sia le farine d'insetto, possano rappresentare validi sostituti alla farina di pesce per la formulazione di mangimi per il settore dell'acquacoltura.

Validità delle formulazioni a base di fonti proteiche alternative alle tradizionali

Gli studi condotti dal progetto 4F sulla compensazione delle diete sostituite con varie forme di metionina, taurina e butirrato hanno dimostrato che, indipendentemente dalla forma di metionina assunta con la dieta, gli animali non hanno manifestato danni strutturali rilevanti o segni evidenti di infiammazione tissutale a livello intestinale, confermando quindi la validità di tutte le forme di metionina testate, ad eccezione di L-Met che ha influito negativamente sulle performance di crescita.

Nel caso di sostituzione della farina di pesce con elevate quantità di farine vegetali, l'aggiunta di taurina è fondamentale. La valutazione dell'inclusione di diversi livelli di taurina in mangimi senza farina di pesce ha dimostrato come l'integrazione della taurina comporti un miglioramento nelle prestazioni di crescita dei pesci e una diminuzione della produzione di ROS in condizioni di induzione di stress ossidativo². Inoltre, la valutazione dell'effetto di una miscela di acidi grassi a catena corta e media sulla trota, in cui la monobutirrina rappresentava il 65%, ha mostrato come la miscela sia ben tollerata dalla trota con miglioramento dell'indice di conversione e delle performance di crescita.

Infine, una specifica combinazione di acidi grassi a corta e media catena (SILOhealth 108Z) è stata testata su orate nutrite con diete a base vegetale. Dai risultati emerge che SILOhealth 108Z ha modulato positivamente il microbiota intestinale dei pesci aumentando il numero di batteri lattici benefici, quali *Lactobacillus*, e riducendo il numero di *Gammaproteobacteria*, che includono diversi potenziali batteri patogeni. La composizione specifica di acidi grassi contenuti in SILOhealth 108Z potrebbe quindi avere un grande potenziale come additivo per mangimi in acquacoltura³.



² Ceccotti et al., 2019. Protective Effect of Dietary Taurine from ROS Production in European Seabass under Conditions of Forced Swimming. *Animals*

³ Rimoldi et al., 2018. Effect of a specific composition of short- and medium-chain fatty acid 1-Monoglycerides on growth performances and gut microbiota of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *PeerJ*, DOI 10.7717/peerj.5355

Qualità nutrizionale del pesce allevato

Le prove pilota realizzate in ambiente sperimentale in azienda su trota iridea ha previsto la valutazione di tre diete commerciali, contenenti fonti proteiche differenti (farina di pesce, farina di scarti avicoli e farina di insetto), sulle performance di crescita, la digeribilità delle diete e la qualità fisico-chimica dei filetti. Le trote alimentate con la dieta a base di insetto (inclusione del 10,1% di farina di *Hermetia illucens*) hanno mostrato un maggior incremento di peso con conseguente raggiungimento di un maggior peso finale rispetto ai soggetti alimentati con le altre due diete. Anche il tasso di accrescimento specifico è risultato più elevato nei pesci alimentati con la dieta contenente farina di *Hermetia illucens*.

Con l'obiettivo di valutare la capacità di adattamento ad ambienti di allevamento e mangimi diversi, sono inoltre stati messi a confronto due ceppi di trota iridea. Il primo, di provenienza americana ed il secondo, di origine italiana alimentati con due mangimi (il primo a base interamente vegetale - Mangime USA, il secondo contenente farine proteiche animali - Mangime ITA). Valutando i parametri di accrescimento e di funzionalità intestinale, è emerso che il peso finale delle trote di provenienza americana alimentate con Mangime ITA è risultato maggiore e statisticamente significativo rispetto al gruppo delle trote di origine italiana. Inoltre, sono anche risultati significativamente maggiori l'efficienza nell'utilizzo dell'alimento e della proteina.



Benessere animale e performance di crescita

Il microbiota intestinale, contribuendo in modo significativo alla digestione e all'assimilazione dei nutrienti, alla resistenza alle malattie e alla risposta immunitaria dell'ospite, svolge un ruolo fondamentale per lo stato di salute del pesce. Con il crescente sviluppo dell'acquacoltura e la necessità di renderla più ecosostenibile mediante la formulazione di mangimi con fonti proteiche alternative alla farina di pesce, lo studio del microbiota intestinale nelle specie allevate ha assunto un ruolo fondamentale. Negli ultimi anni si è assistito ad un crescente interesse per la manipolazione del microbiota intestinale del pesce al fine di migliorarne le performance produttive. In effetti, il microbiota intestinale è estremamente dinamico e può essere significativamente influenzato dalla dieta, dall'assunzione di prebiotici, e probiotici. Il progetto 4F ha valutato gli effetti modulatori di diverse fonti proteiche alternative alla farina di pesce sulle comunità microbiche intestinali di specie ittiche sia marine (branzino e orata) che di acqua dolce (trota iridea). Gli effetti di nuove formulazioni mangimistiche sulla composizione del microbiota intestinale di pesci marini e di acqua dolce e sull'aumento della ricchezza e la biodiversità delle specie batteriche intestinali, dimostrano come la percentuale di farina di pesce attualmente contenuta nelle diete commerciali (20%) potrebbe essere completamente sostituita dalla farina di *Tenebrio molitor*, senza alcun effetto negativo sulla crescita dei pesci e mantenendo una digeribilità elevata per tutti i nutrienti considerati⁴. Inoltre, l'uso della farina di insetto non ha indotto modificazioni della qualità fisico-chimica dei filetti destinati al consumo umano, se non per quanto riguarda alcune lievi modificazioni del profilo

⁴ Chemello et al., 2020. Partially Defatted *Tenebrio molitor* Larva Meal in Diets for Grow-Out Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): Effects on Growth Performance, Diet Digestibility and Metabolic Responses. *Animals* 2020, 10, 229; doi:10.3390/ani10020229

in acidi grassi⁵ e l'inclusione di larve mature di *Hermetia illucens* nella dieta fino al 30% è risultata essere ben tollerata dalla trota iridea senza influire sulle prestazioni di crescita. La farina di *Hermetia illucens* modifica positivamente la composizione il microbiota intestinale dei pesci, aumentandone la ricchezza e la diversità. In particolare, l'inclusione della farina di insetti aumenta la quantità di batteri produttori di acido lattico e butirrico, contribuendo alla salute globale dell'ospite. L'effetto prebiotico della farina di insetti è dovuto principalmente alla chitina fermentabile.^{6,7}



Sostenibilità ambientale delle produzioni

L'acquacoltura non è solo l'alternativa allo sfruttamento dei mari e dei bacini idrici ma è anche l'elemento che permette di colmare esigenze nutrizionali con un basso impatto ambientale. Risulta tuttavia fondamentale che tutti i segmenti di un sistema di acquacoltura siano sostenibili, dai mangimi ai sistemi di trattamento, sino alla lavorazione del pesce. Il progetto 4F è riuscito ad analizzare tutti gli elementi che caratterizzano l'ecosistema dell'acquacoltura ed a rispondere in maniera diretta e indiretta alla richiesta di sostenibilità. Alla base della conversione sostenibile vi è l'innovazione tecnologica, che coinvolge soprattutto il mangime, elemento essenziale, non solo per la sostenibilità economica ed ambientale, ma anche per il benessere del pesce e la sicurezza dei prodotti. Le farine di pesce sviluppate e testate in 4F (a base di matrici vegetali, provenienti da insetti e da sottoprodotti della macellazione degli avicoli) risultano essere in grado di allevare pesci sani, con un adeguato bilanciamento nutrizionale e quindi idonei al consumo umano. L'integrazione di principi di circolarità, l'uso degli scarti e l'individuazione di risorse alternative per il settore mangimistico rappresentano indubbiamente la prima rivoluzione sostenibile del settore. Un secondo elemento di analisi ha riguardato l'allevamento del pesce nei diversi contesti del panorama nazionale. Uno degli obiettivi di 4F è stata proprio la valutazione completa dell'impatto degli impianti di acquacoltura, non solo classicamente inteso come Life Cycle Assessment (LCA), ma anche in termini di analisi della biodiversità dell'ecosistema acquatico e della durata nel tempo e nello spazio. Sono stati quindi considerati sia i valori delle matrici abiotiche come l'acqua e l'energia, sia gli elementi biotici come i microrganismi. L'analisi dell'ecosistema microbico della vasca risulta essere correlata a quello del pesce con impatti sul suo benessere e sulla qualità. Tutti questi elementi sono quindi interconnessi e rilevanti per l'analisi di sostenibilità del sistema acquacoltura. La salute dei pesci è infatti un riflesso dell'ambiente in cui vengono allevati e in questo l'acqua gioca un ruolo cruciale: l'acqua ospita un'incredibile biodiversità di microrganismi, che mantengono un ecosistema sano e forniscono servizi ecosistemici. Grazie all'utilizzo di tecniche molecolari, basate sulla lettura del DNA, come il sequenziamento del DNA high-throughput, è stata valutata la struttura del microbioma dell'acqua in impianti di acquacoltura sperimentali e industriali, che impiegavano diverse formulazioni mangimistiche. Dai dati emersi

⁵ Caimi et al., 2021. Dietary inclusion of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larva meal in low fishmeal-based diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Animal Science and Biotechnology, accepted. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00575-1>

⁶ Terova et al., 2019. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. Rev Fish Biol Fisheries 29:465–486 <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09558-y>(0123456789(),-volV () 0123456789(),-volV)

⁷ Rimoldi et al., 2019. The Effects of Dietary Insect Meal from *Hermetia illucens* Prepupae on Autochthonous Gut Microbiota of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). Animals 2019, 9, 143; doi:10.3390/ani9040143 www.mdpi

si evince che, oltre ad esserci una relazione tra la complessità e dinamicità del microbiota dell'acqua e del pesce, vi è anche una correlazione tra microbiota e benessere del pesce. Non può infatti essere escluso che l'ecosistema microbico possa rappresentare un "marchio di fabbrica" del pesce e dell'impianto di allevamento utile a contraddistinguere origine e qualità di un prodotto ittico.



Sostenibilità economica delle produzioni

La sostenibilità economica e ambientale dell'acquacoltura dipende in modo significativo dalla natura e dalla qualità del mangime utilizzato. Una delle principali critiche che viene mossa all'acquacoltura è la necessità di utilizzare significative quantità di farina di pesce e altre fonti proteiche marine per la formulazione dei mangimi. La disponibilità delle risorse tipicamente utilizzate è, comunque, limitata e non in grado di sostenere a sufficienza l'aumento della domanda globale di mangimi causata dalla crescente produzione dell'acquacoltura. Inoltre, l'impiego indiscriminato di tali fonti non può ritenersi sostenibile nel lungo periodo a causa dell'ingente pressione sulla risorsa ittica.

Alla luce di queste considerazioni, durante il progetto è stato condotto uno studio mirato a valutare gli effetti sul piano reddituale nelle aziende di allevamento derivanti dalla possibile introduzione di farina di insetti nella dieta dei pesci. A tal fine, si è fatto ricorso a un caso studio incentrato su un'impresa di allevamento off-shore di spigole in Italia e - partendo da uno status quo che prevede il solo impiego di farine di pesce - sono state effettuate alcune simulazioni sulla base di differenti livelli di impiego della farina di insetti - nello specifico, farine di *Tenebrio molitor* - e di vari scenari di mercato.

I risultati indicano che l'introduzione della farina di insetti nella dieta comporterebbe un peggioramento dei risultati economici a causa di due fattori: 1) un aumento dei costi di alimentazione, in quanto i prezzi di mercato di questa farina e di conseguenza del mangime risultano più alti se comparati con la farina di pesce; 2) un rapporto di conversione più sfavorevole, seppur lievemente, tra la quantità di mangime ingerita e l'incremento ponderale degli esemplari.

Pertanto, i benefici ambientali previsti dall'utilizzo di questa farina di insetti altamente promettente sono in parte controbilanciati da risultati economici meno soddisfacenti ma, trattandosi solo di una prima valutazione, sarebbe necessaria una riformulazione sulla base di scenari - di mercato e tecnologici - futuri. Lo studio, d'altro canto, è il primo di questa tipologia a livello internazionale e i risultati non possono essere pienamente generalizzati poiché è stato preso in considerazione un singolo caso studio. Allo stesso tempo, lo studio pone l'accento sulla necessità di assicurare redditività a questa tecnologia al fine di incoraggiare l'introduzione di questa interessante alternativa, garantendo sostenibilità economica e ambientale nel prossimo futuro. Un approccio paradigmatico innovativo, quale quello che fa capo all'economia circolare, può rappresentare, da questo punto di vista, la soluzione politica e manageriale nella creazione del valore necessario a rendere concretamente realizzabili tali intenti. Questa prospettiva è stata ben argomentata su un altro studio più specificamente dedicato all'attività dell'allevamento di insetti.⁸

⁸ Madau F. A., Arru B., Furesi R., Pulina P. Insect Farming for Feed and Food Production from a Circular Business Model Perspective. Sustainability 2020, 12, 5418; doi:10.3390/su12135418



Qualità delle produzioni

Attraverso un approccio di tipo multi-omico è possibile descrivere come i metabolismi del pesce allevato rispondano alle condizioni di allevamento. Sebbene infatti l'allevamento di specie carnivore (spigola, orata, trota) non possa più basarsi sul consumo intensivo di farine e olii di pesce, l'introduzione di fonti proteiche e lipidiche alternative pone un grande interrogativo sull'effetto finale della sostituzione sul prodotto commercializzato. Numerosi studi dimostrano che questi organismi siano molto sensibili all'alimentazione e alle condizioni di allevamento (ad es. ingredienti del mangime, temperatura, densità). Infatti, un cambiamento del mangime o del programma di somministrazione dello stesso, spesso determina un'alterazione del metabolismo nei pesci, che tendono a modificare il proprio stato metabolico per equilibrare lo scompenso creato dallo stimolo esterno (es. dieta). Tuttavia, dai risultati emerge che i profili lipidici di trote e orate non hanno mostrato alterazioni dovute alla sostituzione delle farine di pesce con farine di insetto e avicoli. Nessuno dei percorsi metabolici è risultato significativamente perturbato dalle nuove formulazioni testate, indicando quindi un effettivo successo nell'ottenimento di formulazioni sostitutive altamente bilanciate.^{9,10} Inoltre, il regime alimentare non altera in maniera significativa le proteine e le famiglie proteiche espresse nel fegato che, in accordo con quanto evidenziato dall'analisi metabolomica, supporta l'utilizzo di formulazioni alimentari sostitutive altamente compatibili e di facile metabolizzazione per il pesce. L'inclusione di fonti proteiche alternative e sostenibili (farina di larve di *Hermetia illucens*) provoca differenze molto limitate negli acidi grassi presenti nei filetti e non si osservano significative differenze a livello degli acidi grassi Omega-3 a lunga catena di maggior interesse per la nutrizione umana, quali l'EPA ed il DHA.



⁹ Ghisaura, S., Anedda, R., Pagnozzi, D. et al. Impact of three commercial feed formulations on farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) metabolism as inferred from liver and blood serum proteomics. *Proteome Sci* 12, 44 (2014)

¹⁰ Melis, R., and Anedda, R., 2014 Biometric and Metabolic Profiles Associated to Different Rearing Conditions in Offshore Farmed Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) 35 (2014), pp. 1590-1598



Conclusioni

I risultati ottenuti da *Fine Feed For Fish* dimostrano un'applicazione pratica per i produttori di mangimi e gli itticoltori, grazie al beneficio dato dall'inclusione di farine di insetti nella dieta dei pesci nel supportare un aumento di produzione evitando l'uso massiccio di fonti proteiche convenzionali, caratterizzate da forti impatti ambientali.

L'identificazione di nuovi integratori proteici e calorici in nuove formulazioni mangimistiche a base di farina vegetale, farina di insetti o sottoprodotti della macellazione degli avicoli ha consentito di selezionare le migliori forme e quantità di amminoacidi essenziali e acidi grassi che favoriscano la crescita e la qualità delle specie allevate.

- È stata dimostrata la validità di tutte le forme di metionina testate (DL-Met rivestita e non rivestita e il suo precursore HMTBa), ad eccezione di L-Met
- La supplementazione con 0,25% di taurina nella dieta ha comportato un miglioramento nelle prestazioni di crescita dei pesci e una diminuzione della produzione di ROS
- La miscela di acidi grassi a catena corta e media, in cui la monobutirrina è presente al 65%, ha comportato un miglioramento delle performance di crescita
- La composizione specifica di acidi grassi contenuti in SILOhealth 108Z potrebbe avere un grande potenziale come additivo per mangimi in acquacoltura.

Grazie agli studi in impianti pilota, è stato possibile identificare le percentuali di sostituzione della farina di pesce con fonti proteiche alternative basate sull'utilizzo di proteine vegetali, farina di insetto (farine di larve di *Tenebrio molitor* e *Hermetia illucens*) e sottoprodotti della macellazione degli avicoli in grado di mantenere le stesse performances.

- La percentuale di farina di pesce attualmente contenuta nelle diete commerciali (20%) potrebbe essere completamente sostituita dalla farina di *Tenebrio molitor*, senza alcun effetto negativo sulla crescita dei pesci
- L'uso della farina di insetto non ha indotto modificazioni della qualità fisico-chimica dei filetti destinati al consumo umano

La validazione in scala aziendale ha consentito di convalidare le nuove formulazioni innovative in condizioni di allevamento e di valutare la risposta del microbiota intestinale alle diverse diete.

- Le trote alimentate con la dieta a base di insetti hanno mostrato un maggior incremento di peso con conseguente raggiungimento di un maggior peso finale rispetto ai soggetti alimentati con le diete contenenti gli scarti di sottoprodotti avicoli e farina di pesce
- La farina di *Hermetia illucens* è in grado di modificare positivamente la composizione del microbiota intestinale dei pesci, aumentandone la ricchezza e la diversità. In particolare, l'inclusione della farina di insetti aumenta la quantità di batteri produttori di acido lattico e butirrato, contribuendo alla salute globale dell'ospite.

Rispetto alle indicazioni di sostenibilità ambientale, economica e qualitative del prodotto, è possibile concludere che:

- L'applicazione di analisi metagenomiche allo studio sostenibilità ambientale ha consentito un'analisi innovativa dell'ecosistema che interagisce con il pesce
- In una prospettiva futura, lo studio delle comunità microbiche associate agli impianti di allevamento potrà fornire soluzioni utilizzando strategie di controllo e modulazione del microbiota, migliorando le condizioni nutrizionali e di crescita e prevenendo o curando malattie causate dai microrganismi stessi. Inoltre, i dati ottenuti possono portare a una gestione sostenibile dell'acquacoltura considerando l'impatto ambientale
- Sebbene l'introduzione della farina di insetti nella dieta comporti un peggioramento dei risultati economici, l'economia circolare rappresenta un approccio paradigmatico innovativo e pertanto può rappresentare la soluzione politica e manageriale nella creazione del valore necessario per l'allineamento agli attuali interessi economici dell'industria dell'acquacoltura
- Le strategie adottate nell'ottimizzazione delle formulazioni mangimistiche hanno permesso di mitigare l'impatto metabolico dell'alimentazione sia nelle prove di laboratorio che in azienda, nonostante la sensibile riduzione delle farine di pesce utilizzate a favore di alternative sostenibili. In questo senso, i risultati di progetto confermano il carattere di elevata compatibilità delle nuove formulazioni, oltre che la loro sostenibilità, digeribilità e le alte performance zootecniche.

