

INTERREG VI-A ITALIA SLOVENIJA 2021-2027

BeBlue Beyond Bluegrass:

Rafforzare l'agroalimentare sostenibile mediante l'acquaponica

Krepitev trajnostne agroživilske proizvodnje z akvaponiko

D1.4.1 Digital Twin per Acquaponica.

Applicazione web con interfaccia utente/

INTERREG VI-A ITALIA SLOVENIJA 2021-2027

Bando di Capitalizzazione/ Poziv za Kapitalizacijo N. 01/2022R

Project code: ITA-SI0100069 BeBlue

Start date: September 1st, 2023 – Duration 24 months

Partner di progetto/Projektne partnerji:

Il progetto BeBlue è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.

Projekt BeBlue sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.



Università
Ca' Foscari
Venezia



UNIVERZA V LJUBLJANI
University of Ljubljana



Progetto/ Projekt:	Interreg Italia – Slovenia BeBlue – Beyond Bluegrass
No del Progetto / Številka projekta:	ITA-SI0100069
WP	WP1 - Oltre Bluegrass: digitalizzazione e diversificazione dei prodotti / Nadaljevanje Bluegrass: digitalizacija in diverzifikacija proizvodov
Attività	A4.1
Deliverable	D1.4.1 / Digital Twin per Acquaponica. Applicazione web con interfaccia utente/
Versione / različica:	1
Data di invio / Datum odpreme:	
Partner responsabile / Odgovorni partner:	UNIVE
Autori/ Avtorji:	Joseph Safi, Roberto Pastres

Tipo di Deliverable / Vrsta končnega izdelka		
R	Documento, Report / Dokument, poročilo	
DEM	Dimostratore, pilota, prototipo - Demo, pilotni projekt, prototip	X
DEC	Websites, videos, etc. / Spletne strani, videoposnetki itd.	
OTHER		

Livello di divulgazione / Stopnja razširjanja		
PU	Pubblico – Javni	X
CO	Confidenziale, solo per i partners di progetto, il segretario tecnico e il Comitato di gestione del programma / zaupno, samo za projektne partnerje, tehničnega sekretarja in odbor za upravljanje programa	

Approvazione del deliverable / Odobritev izročka		
Approvato internamente Interno odobreno		
Approvato dal WP Leader Odobril WP Leader		
Approvato dal coordinatore Odobril koordinator	Roberto Pastres (UNIVE)	

Contatti del coordinator / Kontakti koordinatorja	
Project Coordinator Name	Prof. Roberto Pastres
Project Coordinator Organization	Università Ca' Foscari di Venezia
Address	Via Torino 155, 30172, Mestre (VE) - Italia
E-mail	pastres@unive.it
Project web-site	https://www.ita-slo.eu/it/beblue

BEBLUE IN SINTESI	5
LISTA DEGLI ACRONIMI - SEZNAM AKRONIMOV	6
INDICE DELLE FIGURE	7
INDICE DELLE TABELLE	7
SOMMARIO	8
1. INTRODUZIONE	9
1.1 Scopo del documento e articolazione del deliverable	9
2. IL PROTOTIPO DI DIGITAL TWIN.....	11
3. LA PIATTAFORMA “DiGiponic”.....	13
3.1 Progettazione.....	13
3.2 Orientamento alla progettazione.....	14
3.3 Gestione	14
3.3.1 Dati in Ingresso.....	14
3.3.2 Suggerimenti gestionali	15
4. CONCLUSIONI	17
Bibliografia.....	18

BeBlue Beyond Bluegrass

Rafforzare l'agroalimentare sostenibile mediante l'acquaponica

D1.4.1 Digital Twin per Acquaponica. Applicazione web con interfaccia utente

(Versione in italiano)

BEBLUE IN SINTESI

BeBlue - Beyond Bluegrass, contribuisce al raggiungimento dell'obiettivo specifico SO2.6 del programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Slovenia: "Promuovere la transizione verso un'economia circolare ed efficiente sotto il profilo delle risorse". Il progetto si propone di facilitare la diffusione dell'acquaponica. Mediante questa tecnologia circolare e sostenibile è possibile la co-produzione di pesce a specie vegetali in sistemi a ricircolo. BeBlue capitalizza i risultati conseguiti dal progetto di cooperazione transfrontaliera BLUEGRASS, (<https://2014-2020.ita-slo.eu/bluegrass>), che introdusse l'acquaponica nell'area di programma,

A tal fine, BeBlue predisporrà strumenti per:

1. ottimizzare la gestione degli impianti acquaponici, mediante la loro digitalizzazione e lo sviluppo di un prototipo di "Digital Twin";
2. dimostrare il potenziale utilizzo di sistemi acquaponici per ottenere prodotti innovativi ad alto valore aggiunto quali: i) macroalghe; ii) salicornia; iii) micro-ortaggi.
3. valutare la sostenibilità ambientale dei prodotti, mettendo a punto un calcolatore in grado di fornire l'impronta ambientale di prodotto (Product Environmental Footprint).
4. Valutare la sostenibilità economica di tali produzioni, mediante un'analisi di mercato, finalizzata a valutare l'accettabilità dell'uso della tecnologia acquaponica da parte di produttori e consumatori, lo sviluppo di uno strumento per valutare il ritorno sugli investimenti dei sistemi acquaponici.
5. Aumentare la conoscenza e visibilità dell'acquaponica tra gli operatori del settore e i potenziali investitori

Il piano di lavoro di BeBlue si articola in 3 pacchetti, o Work Package, i cui obiettivi specifici sono riassunti di seguito. Oltre ad attività di trasferimento tecnologico o networking, essi includono anche attività di comunicazione e divulgazione, mirate a diverse tipologie di potenziali fruitori.

WP1: Oltre Bluegrass: digitalizzazione e diversificazione dei prodotti

Obiettivi: Migliorare gli impianti pilota messi a punto in BLUEGRASS e sviluppare, mettere alla prova e divulgare strumenti digitali per supportare la gestione e l'ottimizzazione di un impianto acquaponico.

WP2: Strumenti per la valutazione della sostenibilità ambientale ed economica.

Obiettivi: Sviluppare strumenti a supporto degli investitori e operatori nella progettazione e gestione di sistemi acquaponici, fornendo linee guida per selezionare prodotti e strumenti web-based per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale.

WP3: Networking e valorizzazione

Obiettivi: favorire lo sviluppo e la valorizzazione delle conoscenze generate dal precedente progetto Bluegrass e dalle nuove attività, rinforzando il networking transnazionale con processi partecipativi e diffusione dei risultati.

LISTA DEGLI ACRONIMI - SEZNAM AKRONIMOV

ALK	Alcalinità
BQC	Interfaccia utente per il controllo di qualità dei dati BeBlue Quality Control
DT	Gemello Digitale - Digital Twin
FW	Peso Fresco – Fresh Weight
IP-UNILJU	Impianto pilota acquaponico gestito dall'Università di Ljubljana
IP-UNIVE	Impianto pilota acquaponico gestito dall'Università Ca' Foscari di Venezia
LW	Peso vivo – Live Weight
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
DO	Ossigeno Disciolto – Dissolved Oxygen
RAS	Sistema di Acquacoltura a Ricircolo - Recirculating Aquaculture System
RP	Fosforo Reattivo - Reactive Phosphorus
TAN	Azoto Ammoniacale Totale - Total Ammonium Nitrogen
TSS	Solidi Sospesi Totali - Total Suspended Solids

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1: Schematizzazione di un sistema acquaponico accoppiato	12
---	----

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Dati di ingresso che possono essere inseriti dall'utente.....	13
Tabella 2: Risposte del modello utili a orientare il dimensionamento di un sistema acquaponico.	14
Tabella 3: Dati necessari a stimare l'evoluzione dello stato del sistema acquaponico una settimana, un mese e sei mesi in avanti.....	15
Tabella 4: Previsioni fornite dal modello in relazione ai tre orizzonti temporali. Essi sono genericamente indicati con ti.	16
Tabella 5: Previsioni fornite dal modello in relazione ai tre orizzonti temporali. Essi sono genericamente indicati con ti.	16

SOMMARIO

Il presente documento descrive le principali funzionalità di una piattaforma informatica, che consente di simulare l'evoluzione temporale delle principali variabili che caratterizzano un sistema acquaponico mediante il prototipo di "gemello digitale" o "Digital Twin" messo a punto nell'attività A1.4 "Prototipo di «Digital Twin»".

La piattaforma, "DiGiponic", accessibile gratuitamente via web, è dotata di un'interfaccia utente di semplice utilizzo, sviluppata in ambiente R utilizzando il pacchetto software Rshiny. Il prototipo di Digital Twin è descritto in dettaglio nel Deliverable D.4.2 "Digital Twin per Acquaponica: principi e applicazioni".

L'interfaccia utente include due funzionalità principali: la prima è stata progettata per fornire indicazioni utili a dimensionare correttamente un impianto acquaponico, la seconda per facilitarne la gestione.

La prima funzionalità di DiGiPonic fornisce indicazioni relative al dimensionamento del RAS in cui si alleva il pesce e della serra idroponica, in base ad alcuni dati e informazioni fornite dall'utente quali, ad es. le specie da co-produrre, la produzione annuale desiderata di pesce, il regime termico prevalente.

La seconda funzionalità permette invece di ottenere indicazioni concrete riguardo le azioni gestionali da programmare settimanalmente o su base semestrale. Entrambe le funzionalità forniscono:

- stime della razione alimentare e dell'accrescimento del pesce e delle specie vegetali, in maniera da poter programmare l'acquisto di mangime e la fase di raccolta del prodotto;
- previsione dell'evoluzione temporale del pH e, in base ad essa, suggerimenti riguardo l'aggiunta di un composto chimico per mantenere l'acidità della soluzione entro l'intervallo di accettabilità per le specie co-prodotte;
- previsione delle concentrazioni di TAN e nitrato nella soluzione acquosa, suggerendo eventuali azioni di ricambio idrico per abbassarle, qualora esse siano in procinto di provocare stress al pesce.

I risultati sono restituiti prevalentemente in forma grafica ma l'utente è in grado di estrarli in forma numerica, come file in formato .csv, facilmente importabili in Excel e leggibili da altri ambienti di programmazione, quali "R" e "Python".

1. INTRODUZIONE

La gestione di un sistema acquaponico non è semplice, soprattutto ove l'obiettivo sia raggiungere un volume produttivo di interesse commerciale. In tale sistema, infatti, convivono organismi appartenenti a tre livelli trofici: oltre al pesce (consumatori) e ai vegetali (produttori primari), non bisogna dimenticare la componente batterica, fondamentale per bio-convertire i composti inorganici azotati ridotti in nitrato.

La funzionalità del sistema è legata ai rapporti tra la biomassa del pesce e quella dei vegetali ed al bilanciamento dei loro tassi metabolici, condizionati da un insieme di variabili quali:

- la temperatura dell'acqua;
- la razione alimentare;
- la velocità di circolazione dell'acqua;
- la disponibilità di ossigeno;
- l'acidità della soluzione.

Per facilitare sia il dimensionamento sia la gestione del sistema, nell'ambito del progetto BeBlue è stato sviluppato un prototipo di "gemello digitale" o "Digital Twin" – DT di un sistema acquaponico. I "gemelli digitali" sono in fase di sviluppo in molti ambiti applicativi e la loro definizione spesso viene adattata ad essi. Recentemente, è stata proposta una definizione di DT per un sistema di allevamento di pesce intensivo (Fore&al, 2024), basata sull'approccio gestionale denominato "Piscicoltura di Precisione" o "Precision Fish Farming", PFF. Nel progetto BeBlue tale definizione è stata estesa ad un sistema acquaponico, definendo la struttura matematica del modello dinamico che costituisce la componente essenziale del DT e comparando i risultati con i dati rilevati nei due impianti pilota, gestiti rispettivamente dal LP-UNIVE e da PP2-UNILJU. La metodologia e i principali risultati sono esposti in dettaglio nel Deliverable D1.4.2: essi evidenziano che il modello dinamico fornisce previsioni affidabili sia dell'accrescimento dei prodotti sia della qualità dell'acqua e possa quindi essere utilizzato sia in fase di progettazione che di gestione di un sistema acquaponico. A tal fine, il codice relativo al modello, sviluppato in ambiente di programmazione "R", è stato opportunamente ristrutturato per renderlo fruibile gratuitamente via web attraverso una interfaccia utente codificata utilizzando il pacchetto "Shiny", recentemente disponibile anche in ambiente di programmazione "Python"

1.1 Scopo del documento e articolazione del deliverable

Questo documento descrive le principali funzionalità dell'interfaccia utente "DiGiPonic", che consente di ottenere suggerimenti sia riguardo il dimensionamento sia riguardo la gestione di un sistema acquaponico. Coerentemente con l'obiettivo di questo rapporto, il documento si articola nella presente introduzione e in altri tre capitoli. Nel secondo capitolo, per agevolare il lettore, vengono riassunte le principali caratteristiche del prototipo di Digital Twin, descritto in dettaglio nel Deliverable D1.4.2. Successivamente, vengono presentate le due funzionalità della piattaforma: 1) Progettazione; 2) Gestione. La prima fornisce all'utente indicazioni utili a

dimensionare un sistema acquaponico completamente accoppiato, in cui il flusso idrico uscente dal comparto RAS (Recirculation Aquaculture System) venga interamente convogliato nella serra idroponica o Green House (GH). La seconda funzionalità ha lo scopo di facilitare la programmazione delle principali azioni gestionali su base: i) settimanale, ad es. calcolo della razione alimentare, ii) mensile, ad es. raccolta delle specie vegetali, e iii) semestrale, ad es. ordinativo di mangime, pesca e vendita/consumo del pesce, ordinativo di avannotti.

2. IL PROTOTIPO DI DIGITAL TWIN

In accordo con la letteratura più recente (Fore&al, 2024) il gemello digitale o Digital Twin di un impianto di acquacoltura intensiva viene definito come:

una rappresentazione digitale del sistema che fornisce indicazioni riguardo all'evoluzione del suo stato combinando: i) conoscenze a priori riguardo i processi che vi avvengono mediante modelli matematici ii) l'informazione man mano acquisita attraverso la rilevazione di dati sperimentali."

In BeBlue tale definizione è stata estesa ad un impianto acquaponico, sviluppando e mettendo alla prova **l'elemento centrale del DT**, cioè **un modello dinamico predittivo, in grado di simulare in tempo reale il funzionamento del sistema.**

Il prototipo di Digital Twin è descritto in dettaglio nel Deliverable D1.4.2. L'impianto acquaponico tipo utilizzato per formulare le previsioni fornite da DiGiponic è visualizzato in Figura 2-1. Esso include i cinque componenti essenziali di un impianto in grado di fornire produzioni medio-basse:

- 1) Vasche di allevamento del pesce - FT;
- 2) Biofiltro - BF
- 3) Filtro meccanico - MF
- 4) Serra idroponica - GH;
- 5) Vasca di distribuzione, o sump – SU

La Fig. 1 evidenzia la complessità del sistema che include:

- variabili di stato biotiche, associate alle specie ittiche in FT, e vegetali, in GH, co-prodotte
- variabili di stato abiotiche (TAN, NO₃, DO, ALK, DIC, TSS), associate alla soluzione che assicura un flusso continuo di composti chimici essenziali per la crescita degli organismi allevati e la rimozione dei metaboliti da loro prodotti.

Inoltre, la soluzione scambia calore, in base alla differenza tra le temperature dell'aria, T_a , e dell'acqua, T_w , e gas, ossigeno e anidride carbonica, con l'aria all'interno del locale che ospita il sistema acquaponico. Esso riceve dall'esterno mangime, radiazione solare per la fotosintesi, ed energia elettrica per mantenerlo in esercizio. Infine, scambia calore con l'ambiente.

Le portate idriche tra i componenti vengono modulate tenendo presente, in primo luogo la necessità di assicurare il benessere del pesce e, secondariamente, l'opportunità di massimizzare l'assimilazione di azoto inorganico disciolto da parte dei produttori primari, piante o alghe.

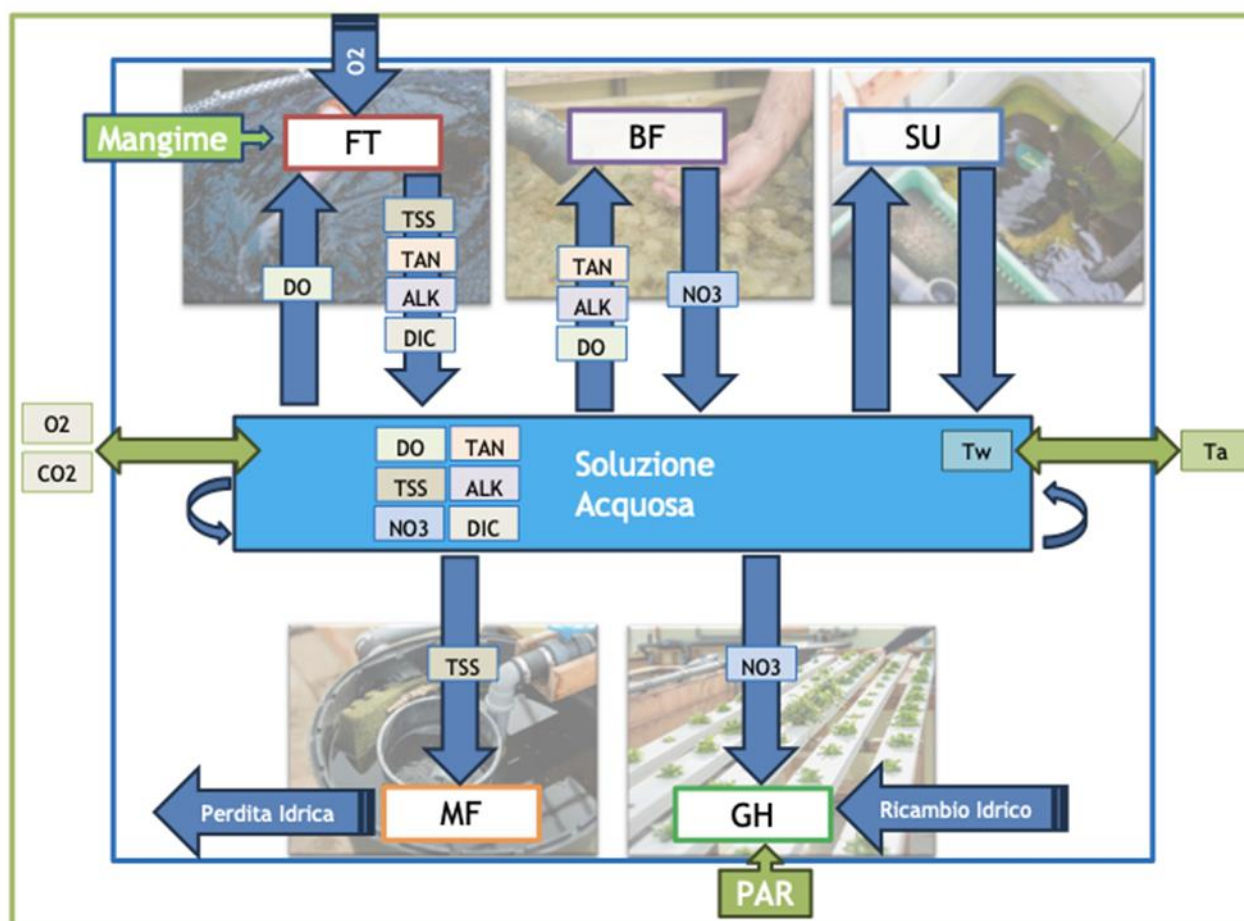


Figura 2-1: Schematizzazione di un sistema acquaponico accoppiato.

3. LA PIATTAFORMA “DiGiPonic”

La piattaforma DiGiPonic è stata progettata per facilitare sia la progettazione sia la gestione di un sistema acquaponico. Essa si basa su un modello dinamico, in grado di prefigurare scenari produttivi relativamente alle condizioni climatiche prevalenti in una certa area. Il modello non considera gli aspetti energetici legati al condizionamento della temperatura dell'acqua, assumendo che questa venga mantenuta in un intervallo in grado di assicurare un buon tasso di bio-conversione dei composti azotati inorganici ridotti ed un buon tasso di accrescimento del pesce. Non si considera, altresì, la spesa energetica per l'eventuale condizionamento della temperatura dell'aria, presumendo che anch'essa venga mantenuta entro limiti di accettabilità per i vegetali.

DiGiPonic include due funzionalità principali:

- 1) Progettazione;
- 2) Gestione

3.1 Progettazione

Lo scopo principale della prima funzionalità è fornire indicazioni utili al corretto dimensionamento di un impianto acquaponico completamente accoppiato. In questo caso, infatti, il flusso idrico uscente dal comparto RAS in cui si alleva il pesce viene interamente convogliato nella serra idroponica o Green House (GH), in cui vengono coltivati i vegetali. Per massimizzare l'utilizzo dell'azoto contenuto nel mangime e quindi l'indice NUE – Nitrogen – Utilization Efficiency e ridurre al minimo il ricambio idrico è necessario bilanciare il flusso di azoto derivante dalle escrezioni del pesce e quello legato all'assimilazione dei vegetali. Il modello dinamico suggerisce il rapporto tra superficie coltivabile e biomassa del pesce valutando su base annua scenari di produzione delle biomasse di pesce e vegetali e di concentrazione di TAN e nitrato in soluzione.

3.1.1 Dati in ingresso

Le informazioni e i dati richiesti all'utente per orientarlo nel dimensionamento del sistema acquaponico sono elencati in Tab. 1.

Tabella 1: Dati di ingresso che possono essere inseriti dall'utente.

Variabile	Unità di misura
Localizzazione dell'impianto: Lat -Long	Gradi – primi- secondi
Selezione prodotti;	
Volume delle vasche	m ³
Peso medio iniziale del pesce	g
Densità iniziale del pesce	esemplari/m ³
Densità di coltivazione	piante/m ²
Temperatura minima, media e massima annuale dell'acqua	°C
Temperatura minima, media e massima dell'aria	°C
Serie temporale dei valori giornalieri di PAR o intensità della radiazione solare al suolo.	W/m ²

La serie temporale di intensità della radiazione solare fotosinteticamente (PAR) verrà stimata dalle coordinate geografiche e dalla intensità della radiazione solare al suolo, in caso l'utente non sia in grado di fornirla.

3.2 Orientamento alla progettazione

Le informazioni fornite all'utente in forma numerica e/o grafica sono elencate in Tab. 2. Confrontando le risposte del modello con i dati di ingresso, l'utente può modificare peso medio e densità del pesce in modo da ottenere una superficie coltivabile ed una produzione di biomassa totale adatta alle sue esigenze.

Tabella 2: Risposte del modello utili a orientare il dimensionamento di un sistema acquaponico.

Variabile	Unità di misura
Superficie coltivabile	m ²
Portate idriche (from the optimal flow/cultivated surface ratio)	m ³ /h
Produzione annuale pesce	kg/anno
Produzione annuale piante	kg/anno
Curva di crescita peso medio pesce e biomassa pesce: scenario annuale.	g
Curva di crescita peso medio pesce e biomassa piante: scenario annuale.	g
Serie storica dei valori giornalieri delle concentrazioni di TAN e nitrato in soluzione: scenario annuale	mgN/L

3.3 Gestione

Questa funzionalità si prefigge di facilitare la gestione di un sistema acquaponico riguardo tre orizzonti previsionali: i) Settimanale; ii) Mensile; iii) Semestrale. La scelta degli orizzonti è legata alla necessità concreta di programmare azioni gestionali a breve termine, ad es. stima settimanale della razione alimentare per il pesce, e al diverso tasso di accrescimento del pesce rispetto ai vegetali, che richiede una differente temporizzazione di ordinativi ed operazioni di raccolta/pesca/vendita dei prodotti.

3.3.1 Dati in Ingresso

Le informazioni e i dati richiesti all'utente per pianificare la gestione riguardo ai tre orizzonti previsionali sono elencati in Tabella 3: essi sono indicati con **t7=7**, **t30=30**, **t180=180**, in relazione alla loro durata in giorni. La tabella include alcune azioni gestionali correttive, necessarie a mantenere la soluzione acquosa in condizioni tali da assicurare il benessere e l'accrescimento ottimale o quasi ottimale degli organismi coltivati/allevati. Inizialmente, si ipotizza che non ne venga intrapresa alcuna: esse possono essere attivate in base ai risultati per verificarne l'effetto.

Tabella 3: Dati necessari a stimare l'evoluzione dello stato del sistema acquaponico una settimana, un mese e sei mesi in avanti.

Variabile	Unità di misura
Localizzazione dell'impianto: Lat -Long	Gradi – primi- secondi
Prodotti (Orate+salicornia; Trote+lattuga);	
Struttura del sistema	
Volume delle vasche per l'allevamento del pesce	m ³
Volume associato al biofiltro	m ³
Volume associato al filtro meccanico	m ³
Volume idrico della serra idroponica	m ³
Volume della vasca di raccolta, o sump	m ³
Portata dalle vasche dei pesci al biofiltro	m ³ /h
Portata dalle vasche dei pesci dal biofiltro al filtro meccanico	m ³ /h
Portata dal filtro meccanico alla serra idroponica	m ³ /h
Portata dalla serra idroponica alla vasca di distribuzione	m ³ /h
Variabili biotiche	
Peso medio iniziale del pesce	g
Densità iniziale del pesce	esemplari/m ³
Superficie coltivata	m ²
Peso fresco medio iniziale delle piante	g
Densità di coltivazione	piante/m ²
Variabili abiotiche	
Concentrazione iniziale di TAN	mgN/L
Concentrazione iniziale di NO3	mgN/L
Concentrazione iniziale di ALK	mmol
Concentrazione iniziale di DO	mgO ₂ /L
Concentrazione iniziale di TSS	g/L
Valore iniziale di pH	-
Ingressi/Forzanti	
Composizione del mangime per pesce: % proteine, lipidi, carboidrati, energia	%, MJ/kg
Previsione/climatologia della temperatura media giornaliera dell'acqua.	°C
Previsione/climatologia della temperatura media giornaliera dell'aria.	°C
Previsione/climatologia dei valori giornalieri di PAR.	W/m ²

3.3.2 Suggerimenti gestionali

In base ai dati di ingresso vengono fornite le previsioni riassunte in Tab. 4, mentre le possibili azioni gestionali vengono indicate in Tab. 5. L'utente può attivare le azioni gestionali e vedere i loro effetti.

Tabella 4: Previsioni fornite dal modello in relazione ai tre orizzonti temporali. Essi sono genericamente indicati con t_i .

Previsioni a t_7 , t_{30} , t_{180}	Unità di misura
Consumo di mangime previsto	g/t_i
Curve di crescita peso medio pesce e biomassa pesce:	g/t_i , kg/t_i
Produzione pesce	Kg/t_i
Curve di crescita peso medio pesce e biomassa piante:	g/t_i , kg/t_i
Valori giornalieri della concentrazione di TAN in ogni componente del sistema	mgN/L
Valori giornalieri della concentrazione di NO_3 in ogni componente del sistema	mgN/L
Valori giornalieri di pH in ogni componente del sistema.	-

Tabella 5: Previsioni fornite dal modello in relazione ai tre orizzonti temporali. Essi sono genericamente indicati con t_i .

Azioni gestionali	
Valori giornalieri della razione alimentare	$g/giorno$
Ricambio idrico (sostituzione di un certo volume d'acqua della soluzione con acqua da fonti esterna)	m^3/t_i
Rabbocco idrico (aggiunta di un certo volume d'acqua per compensare le perdite)	m^3/t_i
Aggiunta di composto chimico per la regolazione del pH (buffer)	g/t_i
Raccolta piante	$Kg\ FW/t_i$
Prelievo pesce	$Kg\ LW/t_i$

4. CONCLUSIONI

La messa a punto di una interfaccia utente dimostrativa che debba essere di facile utilizzo comporta, necessariamente, la standardizzazione della struttura del sistema e la semplificazione del modello dinamico che genera le risposte desiderate dall'utente. Nell'ideazione di questa versione dell'interfaccia e della piattaforma informatica che, dietro le quinte, processa i dati, si è cercato il miglior bilanciamento tra il realismo dei risultati e la facilità d'uso anche per utenti con poca o nulla esperienza nella progettazione e gestione di un sistema acquaponico. Per questa ragione, i risultati presentati di riferiscono principalmente alla simulazione del ciclo dell'azoto, che costituisce il macronutriente più importante in un sistema acquaponico.

In prospettiva, la piattaforma potrebbe essere espansa in diverse direzioni, quali ad, esempio, quelle riassunte di seguito.

- L'attuale versione considera le due combinazioni investigate in BeBlue, per le quali il prototipo di Digital Twin è stato verificato: 1) orata e salicornia, 2) trota iridea e lattuga. La gamma dei co-prodotti potrebbe essere ampliata senza grosse difficoltà, in quanto il prototipo è stato concettualizzato e sviluppato in maniera modulare. Ciò, quindi, non richiede la ristrutturazione del codice ma solo la sostituzione dei moduli relativi alla dinamica delle variabili biotiche.
- Introdurre altre azioni di controllo per garantire condizioni ottimali di ossigenazione e di temperatura, collegandola agli strumenti di calcolo della sostenibilità economica ed ambientale messi a punto nelle attività A2.2 e A2.3.
- Introdurre algoritmi di assimilazione dei dati: ciò renderebbe adattare il modello alle singole esigenze aziendali, variandone la parametrizzazione in funzione dei dati rilevati dai loro sistemi di monitoraggio.

Lo strumento messo a punto costituisce quindi un primo passo verso la digitalizzazione e ottimizzazione di un sistema acquaponico, premessa indispensabile per aumentare la redditività e ridurre l'impatto ambientale.

Bibliografia

Fore M., Frank K., Norton T., Svendsen E., Alfredsen J.O., Dempster T., Eguiraun H., Watson W., Stahl A., Sunde L.M., Schellewald C., Skoien K.R., Alver M.O., Berckmans D., 2018. Precision fish farming: a new framework to improve production in aquaculture. Biosyst Eng 173:176–193. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>

Royer, E. & Pastres, R., 2022. Data assimilation as a key step towards the implementation of an efficient management of dissolved oxygen in land-based aquaculture. Aquaculture International. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-01028-w>.