

Progetto CELAVIE: descrizione metodologica per la produzione acquaponica di animali e piante

Bennici Carmelo^{1,2}, Musco Marianna^{1,3}, Masullo Tiziana^{1,3}, Torri Marco^{1,3}, Pipitone Vito^{1,3}, Di Cristofalo Salvatore⁴, Buscaino Carmelo⁵, Tranchida Giorgio⁵, Badami Gianfranco^{6,7}, Costanzo Dario⁶, Caracci Maurilio^{6,7}, Filiberto Giuseppe⁸, Elleuch Amine⁹, Kallel Slim⁹, Bouassida Ismail¹⁰, Amdouni Fatma¹¹, Cuttitta Angela^{1,3}.

1- ISMed CNR UOS di Palermo, via Filippo Parlatore 65, 90145 Palermo

2- IRBIM CNR, Via Luigi Vaccara 61, 91026 Mazara del Vallo (TP)

3- Università LUMSA, via F. Parlatore 65, 90145 Palermo

4- IBBR CNR, via U. La Malfa 153, Palermo

5- IAS CNR, Via del Mare 3, 91021 Torretta Granitola (TP)

6- Coreras - Consorzio Regionale per la Ricerca Applicata e la Sperimentazione, Via Libertà 203, 90143 Palermo

7- Università degli Studi di Palermo, Piazza Marina 61, 90133 Palermo

8- Green Future Srl, via Umberto Maddalena 92, 90131 Palermo

9- Université de Sfax, Route de l'aéroport km 0.5 3029, Sfax, Tunisie

10- AGC - Association de la continuité des générations, Rue Hedi Nouira, 3027, Sfax, Tunisie

11- UTAP - Union tunisienne de l'agriculture et de la pêche, Rue de l'Assistance, perpendiculaire à l'avenue Alain Savary – 1003 – Cité El Khadhra – Tunis, Tunisie

Corresponding author: salvatore.dicristofalo@cnr.it

1. Introduzione all'acquaponica

L'acquaponica è una tecnica agricola innovativa che porta benefici, sia agli agricoltori che all'ambiente. La gestione efficiente dell'acqua, la riciclabilità dei nutrienti e la maggiore produttività sono solo alcuni dei benefici che questa tecnica di coltivazione porta con sé (Manuale FAO, 2019).

Gestione efficiente dell'acqua

L'acquaponica è un sistema che permette una gestione efficiente dell'acqua. Il sistema è definito di tipo chiuso e l'acqua viene riciclata tra le due componenti dell'acquaponica, ovvero l'acquacoltura e l'idroponica, riducendo drasticamente la quantità di acqua necessaria. Ciò significa che una piccola quantità di acqua può essere utilizzata più volte in modo efficiente.

Riciclo dei nutrienti

Un altro grande vantaggio dell'acquaponica è che consente un riciclo dei nutrienti tra le due componenti, l'acquacoltura e l'idroponica. I nutrienti che le piante non possono assorbire vengono assorbiti dagli animali acquatici e poi riciclati nel sistema idroponico. Ciò significa che i nutrienti possono essere utilizzati più volte, consentendo una maggiore produttività utilizzando una quantità minima di risorse.

Maggior produttività

L'acquaponica è un sistema che consente una maggiore produttività. A causa della riciclabilità dei nutrienti, le colture possono crescere più velocemente e con maggiore produttività. Inoltre, l'allevamento di animali consente di sfruttare una risorsa alimentare supplementare, aumentando così la produzione di cibo.

Ambiente sano

L'acquaponica riduce drasticamente l'uso di pesticidi e fertilizzanti chimici. I sistemi chiusi sono più protetti dalle malattie e dai parassiti, rendendo l'uso di pesticidi superfluo. Inoltre, poiché l'acqua viene riciclata frequentemente nel sistema, non vi è alcuna necessità di usare fertilizzanti chimici per sostenere le piante.

Riduzione dell'uso di pesticidi

La riduzione dell'uso di pesticidi è un altro grande vantaggio dell'acquaponica. Poiché i sistemi sono chiusi, ci sono meno possibilità di invasione da parte di parassiti. Ciò significa che non c'è alcuna necessità di ricorrere ai pesticidi per tenere lontane le infestazioni.

Economicità

L'acquaponica è un sistema molto economico. Non solo richiede una minima quantità di risorse, ma consente anche una maggiore produttività, aumentando così i profitti. Inoltre, è un sistema che può essere impostato in qualsiasi spazio, permettendo anche ai piccoli agricoltori di beneficiare di questa tecnica.

2. L'acquaponica in Italia

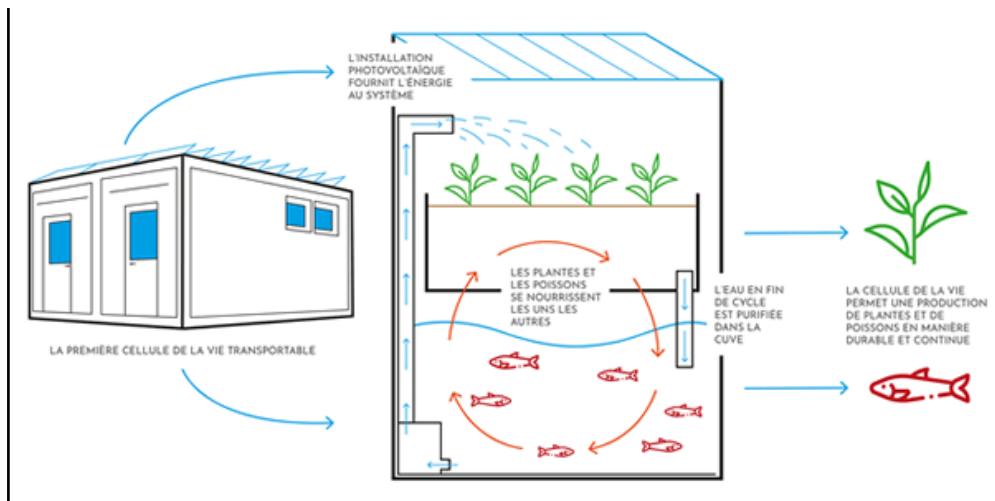
In Italia, l'acquaponica è ancora una pratica relativamente nuova, ma sta guadagnando terreno rapidamente. Il progresso dell'acquaponica in Italia si è concentrato principalmente nelle Regioni del nord. È in queste Regioni che si trova lo stato di sviluppo più avanzato delle aziende agricole che sfruttano questa tecnica di produzione. Tuttavia, anche le Regioni del sud hanno iniziato a seguire l'esempio del nord e a sviluppare impianti di acquaponica.

Di recente, l'acquaponica in Italia ha visto una crescita costante, con l'apertura di numerose aziende agricole che utilizzano questa tecnologia, portando con sé un impatto positivo sull'ambiente e sull'economia grazie alla riduzione dell'uso di acqua e alla produzione di alimenti freschi e locali. Tuttavia, la tecnologia è ancora poco diffusa rispetto ad altri Paesi, come gli Stati Uniti e l'Australia, dove l'acquaponica è già diventata una realtà consolidata.

3. Funzionamento della cellula: dotazione tecnica e metodologia di avviamento

L'intero sistema acquaponico installato rappresenta un circuito chiuso dove l'acqua circola dalle vasche alle *vertical farm* ritornando nuovamente alle vasche.

La Cellula è costituita da un doppio Monoblocco Box *Shelter* all'interno del quale è stato installato il sistema acquaponico. L'impianto acquaponico utilizza l'acqua di scarico delle vasche dove vengono allevati gli organismi di acqua dolce, ad esempio pesci, per irrigare gli speciali letti di crescita, privi di terra e concime, dove sono collocate le piante.



Funzionamento della Cellula della vita

L'acqua, infatti, è ricca di sostanze nutritive che vengono utilizzate dalle piante per il loro sviluppo, grazie alle popolazioni batteriche presenti nei letti di crescita che si occupano di trasformare le sostanze di rifiuto provenienti dal metabolismo animale in importanti elementi di crescita assorbiti dalle radici dei vegetali. L'acqua, così trattata in maniera naturale, ritorna depurata nelle vasche per un nuovo ciclo.

Il ricircolo dell'acqua avviene tramite un'unica pompa di mandata e un ritorno per caduta in vasca. Le piante sono coltivate in una struttura verticale a ripiani (vertical farm), illuminati da luce artificiale a LED alla lunghezza d'onda adatta al fotoperiodo (680nm, 700nm).

Nei ripiani inferiori della *vertical farm* sono alloggiate le vasche di allevamento dei pesci idonee allo sviluppo dei pesci.



Vertical Farm

Attraverso un sistema di sensori installati nel circuito di acquaponica, sono monitorati da remoto i parametri chimico-fisici e un secondo sistema di sensori provvede a monitorare eventuali guasti e/o incidenti (ad esempio fuoriuscita dell'acqua dalle vasche). Infatti, è essenziale monitorare regolarmente i parametri dell'acqua e le condizioni ambientali per prevenire eventuali problemi.

Lo scopo è stato soddisfatto grazie all'adozione di una sonda multiparametrica, ovvero un dispositivo utilizzato per monitorare simultaneamente diversi parametri dell'acqua del sistema acquaponico. Tra i parametri comuni misurati dalla sonda distinguiamo:

- la temperatura dell'acqua nel serbatoio dei pesci e nei letti di coltivazione. Entrambe influiscono sul metabolismo dei pesci e sulla crescita delle piante. In generale, è importante mantenere una temperatura che favorisca sia la crescita delle piante che la salute dei pesci.
- Misura del livello di acidità o alcalinità dell'acqua. Il pH dell'acqua deve essere mantenuto in un range specifico per garantire l'assorbimento ottimale dei nutrienti da parte delle piante e la salute dei pesci.
- Misura la concentrazione di sali nella soluzione idrica. La conduttività elettrica fornisce indicazioni sulla concentrazione dei nutrienti nell'acqua. Un controllo preciso è essenziale per evitare problemi di sovra- o sotto-nutrimiento delle piante.
- Salinità, il cui range ottimale in un sistema acquaponico dipende dalle esigenze specifiche delle piante coltivate e delle specie di pesci allevate nel sistema. La salinità è misurata in parti per mille (ppt) o in milligrammi per litro (mg/L). In generale, la salinità dell'acqua dolce (come quella in un sistema acquaponico) si trova in un range inferiore rispetto all'acqua marina;
- Il potenziale redox, rappresentato dal valore del potenziale di riduzione-ossidazione (Redox), è un parametro che misura l'equilibrio tra le reazioni redox nell'acqua. È una misura della capacità dell'acqua di accettare o cedere elettroni. Il potenziale redox può variare in un sistema acquaponico a seconda delle condizioni ambientali, dell'attività microbica e della presenza di sostanze organiche.
- Il livello di ossigeno disciolto (DO) è un parametro critico in un sistema acquaponico poiché influisce direttamente sulla salute dei pesci e sulle prestazioni delle piante. Il DO rappresenta la quantità di ossigeno presente nell'acqua in forma disciolta, essenziale per le funzioni biologiche dei pesci e per il metabolismo delle radici delle piante. Il range ottimale di ossigeno disciolto in un sistema acquaponico varia in base alle esigenze specifiche delle piante e delle specie di pesci coltivate, ma in generale, si aggira tra 5 e 8 mg/L (milligrammi per litro);
- Il livello ottimale di nitrati (NO₃⁻) in un sistema acquaponico varia in base alle esigenze specifiche delle piante coltivate. I nitrati sono una forma di azoto che può essere assorbita dalle piante come fonte di nutrienti. In generale, un range consigliato di nitrati in un sistema acquaponico si situa tra 10 e 150 ppm (parti per milione).
- Il livello di anidride carbonica (CO₂) nell'aria di un sistema acquaponico è essenziale per la fotosintesi delle piante. In un ambiente acquaponico, l'anidride carbonica può essere assorbita dall'acqua e utilizzata dalle piante per la fotosintesi.
- Il range ottimale di temperatura e umidità nell'aria in un sistema acquaponico può variare leggermente in base alle esigenze specifiche delle piante coltivate e delle specie di pesci allevate. Tuttavia, la maggior parte delle piante e dei pesci comuni in sistemi acquaponici prospera in un

range di temperatura compreso tra i 20°C e i 30°C, mentre l'umidità relativa dell'aria è spesso considerata ideale tra il 50% e il 70% per molte piante coltivate.

Per una questione di sicurezza si è controllato pure il livello dell'acqua nei letti di coltivazione e nel serbatoio dei pesci. Ciò assicura che ci sia sempre una quantità adeguata di acqua nei letti di coltivazione e previene situazioni di sovra o sotto-riempimento. Mentre l'adozione dei timer di illuminazione ha permesso la regolazione dei cicli di illuminazione garantendo il corretto apporto di luce alle piante.

In basso, la figura mostra la sonda multiparametrica usata.



Sonda multiparametrica

L'alimentazione degli impianti di servizio avviene attraverso l'energia prodotta da un sistema *stand-alone* fotovoltaico il cui dimensionamento è stato fatto in considerazione dei fabbisogni energetici, delle differenti condizioni climatiche e in funzione della superficie disponibile per i due siti di installazione previsti di Palermo e Sfax.

I criteri che hanno determinato la scelta dei componenti l'impianto fotovoltaico stand alone con sistema di accumulo, sono basati sui seguenti aspetti:

- Efficienza dei moduli fotovoltaici ad alto rendimento energetico
- Sistema di conversione adatto allo stoccaggio dell'energia prodotta
- Maggiore durata ed efficienza delle batterie agli ioni di litio
- Affidabilità delle case produttrici
- Condizioni di garanzia

I moduli fotovoltaici sono posizionati sulla copertura del doppio monoblocco *shelter*. L'energia autoprodotta e non utilizzata viene stoccata attraverso un sistema di accumulo con batterie agli ioni di litio, che fornisce energia elettrica anche nelle ore notturne.



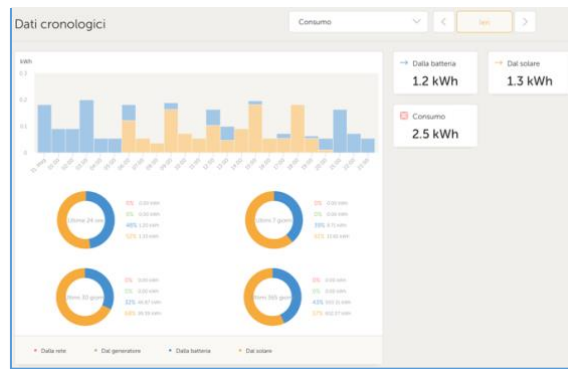
Pannelli fotovoltaici

I flussi energetici vengono gestiti e monitorati grazie ad un sistema di controllo remoto, anche tramite App. La figura sottostante mostra i flussi energetici e i dati dell'impianto in una giornata di esempio, in cui si leggono, oltre la localizzazione dell'impianto e le condizioni meteo, diverse informazioni di produzione di energia e di consumo. In particolare la sezione carichi, la sezione produzione da fotovoltaico, suddivisa per ciascun inverter e, altresì, la carica degli accumulatori. La possibilità di controllo da remoto del funzionamento dell'impianto fotovoltaico permette di verificare eventuali anomalie e intervenire tempestivamente ove possibile.



Controllo da remoto del sistema energetico

Nella figura sottostante un esempio di consumo giornaliero con i flussi energetici totali avuti dalla batteria e dal solare per coprire il consumo giornaliero della cellula. Si nota come nelle prime ore del mattino, serali e notturne gli accumulatori forniscano il 100% di energia, per poi cedere al solare la copertura del fabbisogno elettrico e ricaricare gli stessi



Consumo energetico giornaliero

All'interno dello *shelter* vi è un vano tecnico in cui sono alloggiati l'*inverter*, il regolatore di carica, il gruppo di accumulo, il quadro elettrico, il *data-logger* e il router, come mostrati nella foto in basso.



Quadro tecnico

La climatizzazione interna è assicurata, oltre che dalla coibentazione dello *shelter*, anche da una pompa di calore.

La cellula è pure dotata di una stazione meteorologica posizionata esternamente sullo *shelter*.

Il blocco sensori integrato, collegato alla consolle interna tramite wireless, include:

- Anemometro
- Pluviometro
- Termo-igrometro (in schermo solare passivo)
- Radiazione solare
- Sensore di bagnatura fogliare E- Leaf
- Temperatura e umidità del terreno

- Temperatura e umidità indoor
- Pressione Atmosferica

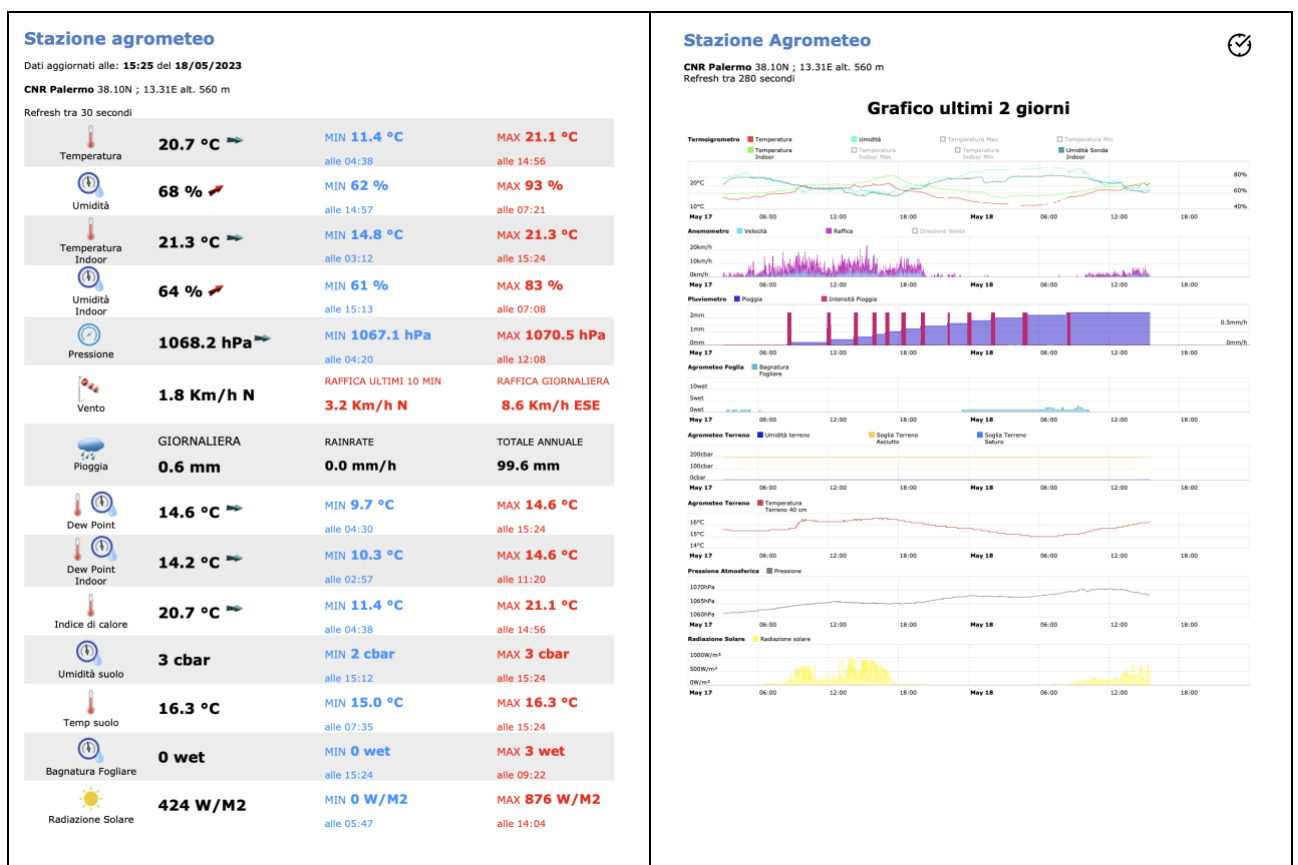


Stazione meteorologica Blocco dei sensori integrato (ISS).

La stazione è di tipo wireless ospita e gestisce la serie di sensori esterni con un sensore di radiazione solare per fornire calcoli accurati sull'evapotraspirazione.

Con i parametri misurati dai sensori installati, con opportuni algoritmi, è possibile estrarre alcune grandezze da essi derivati, come: Pressione barometrica, Punto di rugiada, Evapotraspirazione, Wind Chill e Indice di calore.

Nella sezione grafici temporali dei parametri misurati, il software su cloud mostra i dati puntuali e la serie storica ricavabile, come mostrato in figura.



Parametri meteorologici misurati

L'acquisizione dei dati agrometeorologici rappresenta sempre un punto fondamentale per ogni sperimentazione su campo agricolo. In particolare questa postazione ha dato indicazioni sul microclima interno alle cellule, che da progetto dovrebbe mantenersi stabile in tutte le stagioni e a differenti latitudini, sul microclima locale attraverso i parametri meteo standard e sulle condizioni del terreno attorno la cellula. Questo ultimo dato, insieme agli altri del sistema di monitoraggio aria-acquaponico, ha dato un contributo al confronto della produzione della parte vegetale su suolo con quella idroponica prodotta nella cellula.

Le vasche sono realizzate in vetroresina di colore grigio con rivestimento termico e acustico, sono dotate di sistema di troppopieno, di aspirazione dell'acqua dalla superficie e dal fondo, e di scarico per lo svuotamento delle stesse; presentano una resistenza di carico di 400 kg/m² e resistono a temperature da -40°C a 80°C. La loro forma e le pareti interne, perfettamente lisce, garantiscono un buon effetto autopulente e, in generale, le operazioni di pulizia e disinfezione sono molto semplici.

Il fabbisogno d'acqua di ricambio è ridotto; il livello dell'acqua nella vasca è regolabile mediante uno scarico reclinabile.

All'interno della cellula sono alloggiare:

- n. 8 vasche con un volume pari a 200 l e dimensioni cm 60(A)x70(B)x50(H)
- n. 6 vasche con un volume pari a 150 l e dimensioni cm 50(A)x100(B)x30(H)

Le vasche sono collegate tra di loro tramite un raccordo tubolare in PVC con diametro 50mm, fissato sulle pareti laterali (a 10 cm dal fondo della vasca), centralmente, tramite adattatori *nipples* e guarnizioni *uniseal*.

3.1. Vertical farm

La coltivazione delle piante è realizzata attraverso un sistema multivello posizionato sopra ciascuna vasca. Tale sistema, detto *Vertical farm*, è composto da 12 scaffalature, di dimensioni cm 40(A)x120(B)x215(H), a 3 ripiani in cui sono alloggiati i letti di crescita, ovvero vasi di forma rettangolare riempiti con argilla espansa in cui vengono messe a dimora le piantine da coltivare.

Ogni scaffalatura è suddivisa in tre livelli che ospitano al loro interno dei piani di coltivazione in alluminio coestruso che permette una lunghissima durata del bancale, igiene e pulizia, oltre che bassissima manutenzione e facilità nel montaggio.

Ogni pianale è equipaggiato da valvole di scarico per creare l'effetto flusso-riflusso in maniera verticale, grazie al quale l'acqua pompata dalle vasche viene riversata nel livello più in alto e per cascata passa ai pianali inferiori per ritornare alle vasche.



Scaffalatura della vertical farm

Il letto di crescita è costituito da substrato inerte o MFG (Media Filled Growbed), dove l'obiettivo non è la produttività, ma consente la coltivazione di un'ampia gamma di specie vegetali. Questo sistema prevede quindi che nei vasi venga posto un substrato neutro e inerte, come le sfere di argilla espansa che sono state da noi utilizzate, che serve sia da supporto per le piante che da mezzo di coltura.

Dopo il riempimento dei letti di crescita con l'argilla espansa nonché delle vasche dei pesci con acqua è stato avviato il sistema idraulico affinché l'acqua circolasse, senza la presenza di piante e pesci, per almeno una settimana per consentire la stabilizzazione dei parametri rimuovendo giornalmente la sedimentazione residua dal fondo delle vasche al fine di eliminarla dal ciclo.

Le piante sono alimentate dall'acqua proveniente dalla vasca dei pesci con un flusso sia continuo che discontinuo con il metodo delle maree, cioè con inondazioni e successivi drenaggi grazie a un sifone a campana.



Sistema idrico della vertical farm

3.2. Sistema di illuminazione

La coltivazione in vertical farm viene completamente gestita, a livello di luce, da un impianto a LED in fila di colorazione prevalente a fotoni rossi, blu.

Ogni fila d'illuminazione è posta sotto la base del bancale in modo da illuminare con un cono uniforme la coltivazione del piano sottostante e garantendo il giusto spettro luminoso alla pianta in maniera bilanciata, in base alla sua crescita durante il ciclo. Analogamente sotto la base del primo ripianto è inserita una fila di illuminazione per la sottostante vasca dei pesci.

La luce al LED permette di dare spettri di emissione su misura per le piante nonché per i pesci, con un significativo risparmio energetico e con un raggiungimento istantaneo della massima luminosità a una bassa emissione di calore radiante. Questi aspetti sono molto interessanti ed erano inconcepibili con le vecchie lampade HPS e HID. Il tutto è gestito tramite un quadro elettrico di controllo.

4. Analisi e sorveglianza dello sviluppo della componente biotica all'interno della cellula della vita.

4.1. Acclimatazione di nuovi pesci.

L'introduzione di nuovi pesci nelle vasche di allevamento è un processo che genera elevati di stress nei pesci stessi, in particolare a causa del trasporto da un luogo ad un altro in sacchetti o piccoli serbatoi (Clinton J.Moran *et al.*, 2023).

Durante tale fase sono stati eliminati il maggior numero possibile di fattori di stress che potevano essere causa di mortalità. Ci sono due fattori principali causa di stress durante l'acclimatazione dei pesci: i cambiamenti di temperatura e quelli di pH tra l'acqua originale e la nuova acqua; questi fattori sono stati il più possibile minimizzati. Il pH dell'acqua delle vasche e dell'acqua di trasporto è stato misurato all'arrivo degli organismi presso la cellula. Quando i valori di pH hanno una differenza tra loro superiore a 0,5 gli organismi avranno bisogno di almeno 24 ore per adeguarsi. Le operazioni per l'ambientamento a questi valori sono state effettuate mantenendo gli organismi in un piccolo serbatoio dotato di areazione con la loro acqua originale al quale è stata aggiunta lentamente acqua della nuova vasca nel corso di una giornata. In questo modo, sia la temperatura che il pH sono stati portati ai valori presenti nelle vasche della cellula, in maniera graduale e controllata.



Carassius auratus e *Cyprinus carpio Koi*

4.2. Mantenimento e ingrasso

Superata la fase di ambientamento, sia per i pesci che per i crostacei è stata avviata la fase di accrescimento-Ingrasso. Durante questa fase è stato somministrato il mangime in pellet con formulazione base composto da farina di pesce, farina di soia, micro alghe e aggiunta di vitamine alternato a mangime commerciale in scaglie con la stessa formulazione. Le differenti forme del mangime si sono rese necessarie al fine di capire quale delle due differenti forme rendesse più

semplice il consumo a totale carico degli organismi ed evitare così che parte dello stesso venisse aspirato dal sistema di filtrazione caricando così inutilmente il sistema di filtrazione meccanico e biologico. Il mangime è stato somministrato tramite dosatori automatici programmati per la somministrazione continua effettuata ogni sei ore.

4.3. Riproduzione

Le tempistiche del progetto, unite alle caratteristiche fisiologiche intrinseche delle specie scelte, oltre che le taglie di partenza degli organismi immessi, hanno permesso di effettuare prove di riproduzione in ambiente controllato di tutte le specie allevate tranne che per *Cyprinius carpio* (nella variante *Koi*).

Nello specifico abbiamo seguito con successo la riproduzione delle *Gambusia*, le quali fra tutte le specie è quella con la strategia riproduttiva più semplice e veloce. Questi pesci infatti sono ovovivipari, e partoriscono letteralmente i giovanili dopo una incubazione interna delle uova per un periodo di circa 25 giorni. I giovanili partoriti liberamente in vasca sono stati raccolti e posti all'interno di retine (*Nursery*) per separarli dagli adulti e scongiurare eventi di cannibalismo, molto comune in questa specie. I giovanili così mantenuti sono stati alimentati con lo stesso mangime degli adulti ma ridotto tramite triturazione a una dimensione condona per essere consumato dai piccoli esemplari. L'allevamento in nursery è proseguito fino al raggiungimento della taglia minima che non ne permettesse l'ingestione da parte degli esemplari adulti (all'incirca 20 giorni).

Le due varianti di *Cyprinius carpio* comunemente chiamate oranda e rossi, a seguito dell'analisi visiva esterna dell'ingrossamento delle gonadi degli esemplari femmine, sono stati forniti di idoneo substrato che ne permettesse la deposizione e collocamento delle uova. Nello specifico sono state usate delle spugne sintetiche (Ed-Idoko et al.2021) lasciate libere di galleggiare sulla superficie dell'acqua. Abbiamo mantenuto un rapporto maschio femmine di 1 a 1 e dedicato una vasca per varietà per le prove di riproduzione. In entrambe le varietà la deposizione è avvenuta in concomitanza con l'aumento programmato delle ore di luce, con simulazione del fotoperiodo tipico della primavera alle nostre latitudini. Appena accertata la fine della deposizione delle femmine, gli esemplari adulti sono stati spostati nelle vasche di provenienza per evitare atti di predazione delle uova. La chiusa è avvenuta sei giorni dopo la deposizione a una temperatura dell'acqua di 22,5 C°.

Per la riproduzione del granchio *Potamon fluviatile* si è proceduto in concomitanza con la regolazione del fotoperiodo primavera, a mettere nella stessa vasca un esemplare maschio ed una femmina (Micheli et al., 1990). Abbiamo posto attenzione nella scelta degli esemplari di sesso opposto a scegliere quelli con dimensioni del carapace più simili tra loro, evitando così che l'esemplare più grosso, a causa del grande istinto di difesa del territorio, potesse attaccare e uccidere il compagno. Non ci è stato possibile assistere all'atto del trasferimento delle spermatofore da parte del maschio ma, l'analisi del comportamento tipico della femmina, che succede all'accoppiamento (ricerca di un luogo sicuro, mantenimento della posizione nella tana, rifiuto del cibo) ci hanno portato ad isolare i soggetti femmina ed attendere la deposizione che è

avvenuta pochi giorni dopo. In questa specie le femmine trattengono le uova fornendo cure parentali fino alla schiusa dei giovanili.



Esemplare di *Potamon fluviatile*

4.4. Calibrazione e manutenzione sensoristica

I sensori del sistema di monitoraggio dei parametri dell'acqua, sono stati oggetto di interventi manutentivi di tipo ordinario e straordinario. L'esperienza del personale tecnico, maturata nel corso del tempo con questa tipologia di apparecchiature, ha permesso di prevedere l'acquisito di tutti i reagenti necessari a svolgere le operazioni di messa in servizio e manutenzione ordinaria.

La prima operazione di controllo sul sistema di lettura dei parametri chimico fisici dell'acqua, è avvenuto contestualmente al montaggio e installazione dello stesso all'interno della cellula. Una prima verifica infatti è stata fatta grazie all'utilizzo di soluzioni a valore noto per i parametri di Ph, conducibilità e nitrati. Per alcuni sensori quali ad esempio quello che fornisce i dati dei solidi sospesi e quello per la determinazione dell'ossigeno disciolto oltre che eseguire le operazioni di pulizia, si è anche verificata la coerenza dei dati ottenuti con le ipotetiche condizioni di esercizio in cui l'acqua del sistema opera.

Tra le operazioni di tipo ordinario, la calibrazione con contemporanea verifica dei dati letti, ricopre la totalità delle azioni svolte. La cadenza temporale con cui sono state effettuate le attività di calibrazione ha dovuto tenere conto della complessità dello strumento e dei differenti tempi di esercizio in "stato calibrato" dei singoli sensori. La cadenza temporale per effettuare la manutenzione ordinaria è derivata dallo studio dei manuali di esercizio dello strumento i quali suggerivano interventi anche in caso di accertate discrepanze o repentine variazioni dei dati in lettura.

Gli interventi manutentivi a carattere straordinario si sono resi necessari nelle poche condizioni in cui la presenza di bio-film batterici o particolato organico di grosse dimensioni ha interferito in

maniera meccanica con la regolare funzionalità delle sonde, restituendo di fatto letture con valori fuori scala o interrompendone completamente l'operatività.

4.5. Rese del comparto vegetale e animale

- *Solanum lycopersicum*

Cicli: 4 /anno

resa produttiva: 1,5 volte superiore alla coltivazione in pieno campo.

- *Ocimum basilicum*

Cicli: 7/anno

resa produttiva: 2 volte superiore alla coltivazione in pieno campo.

- *Lactuca sativa*

Cicli: 8/anno

resa produttiva: 3 volte superiore alla coltivazione in pieno campo.

- *Caspicum annuum*

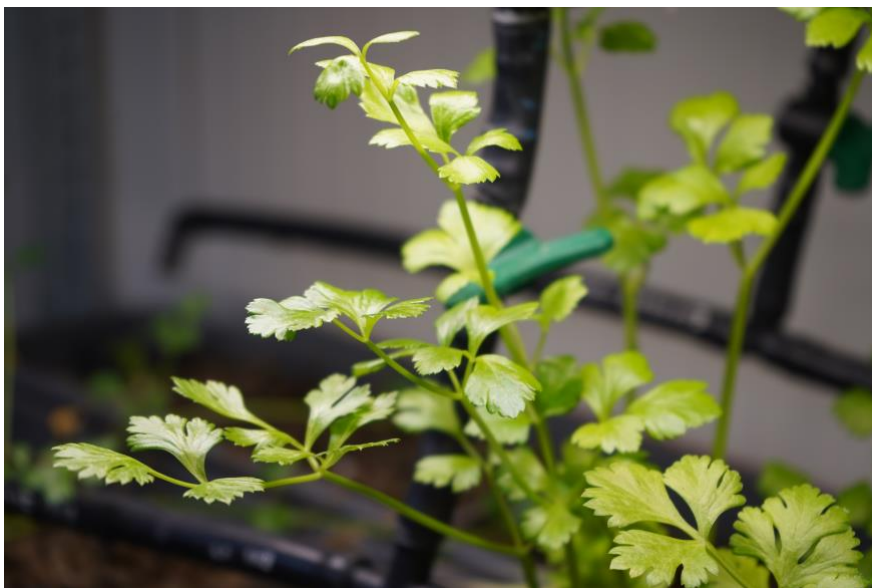
Cicli: 3/anno

resa produttiva: 1,5 volte superiore alla coltivazione in pieno campo.

- *Apium graveolens*

Cicli: 7/anno

resa produttiva: 2 volte superiore alla coltivazione in pieno campo.



Apium graveolens nella Vertical Farm

- *Gambusia affinis*

Cicli: 10/anno

Resa riproduttiva annuale: 300 esemplari per coppia di riproduttori.

Raggiungimento della taglia commerciale per esemplare 3 mesi.

- *Cyprinus carpio*

Incremento ponderale del 5,8% rispetto alla taglia iniziale nell'anno di test.

I tassi di mortalità riscontrati sono del 4 %. Tale percentuale risulta essere di poco inferiore rispetto all'allevamento intensivo in bacini all'aperto.

- *Carassius auratus*

Incremento ponderale del 7,2% rispetto alla taglia iniziale nell'anno di test.

I tassi di mortalità riscontrati sono del 6,5 %. Tale percentuale risulta in linea con i dati degli allevamenti intensivi in bacini all'aperto.

- *Potamon fluviatilis*

Tasso di sopravvivenza del 100% in 12 mesi

Incremento della taglia media 3 mm per ogni muta del carapace

Osservate 3 mute nei 12 mesi di sperimentazione.

5. Acknowledgments

Il progetto è stato finanziato con fondi del "Programma di Cooperazione Transfrontaliera (CT) Italia-Tunisia 2014-2020" e cofinanziato dall'Unione Europea.

Il beneficiario principale, CORERAS - Consorzio Regionale per la Ricerca Applicata e la Sperimentazione, i partner:

- Consiglio Nazionale della Ricerca - IAS e gli istituti collaboratori IBBR e ISMed;

- GREEN FUTURE srl

- Università de Sfax
- ACG - Association de la Continuité des Générations
- UTAP - Union Tunisienne de l'Agriculture et de la pêche,

ed i partner associati: GAL Elimos, Ente Sviluppo Agricolo (ESA), Association pour la conservation de la biodiversité dans le golfe de Gabes, Union régionale de l'agriculture et de la pêche (URAP SFAX), ringraziano l'Autorità di Gestione del Programma e l'Antenna Tunisina per il supporto tecnico offerto per la migliore realizzazione del progetto.

6. Bibliografia

Abdul Qayoom Jakhrani, Al-Khalid Othman, Andrew R.H. Rigit, Saleem Raza Samo, Shakeel Ahmed Kamboh, 2012. Estimation of Incident Solar Radiation on Tilted Surface by Different Empirical Models.

Bella Espinar, Lucien Wald, Philippe Blanc, Carsten Hoyer-Klick, Marion Schroedter Homscheidt, et al.. Project ENDORSE - Excerpt of the report on the harmonization and qualification of meteorological data: Procedures for quality check of meteorological data. [Research Report] D3.2, Mines ParisTech. 2011. hal-01493608

Clinton J. Moran a, David J. Coughlin b, Kamryn E. Jebb c, Leksi Travitz b, Shannon P. Gerry c. . Impacts of thermal acclimatization on fish skeletal muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* Volume 280, June 2023, 111409

Di Cristofalo S., Progetto CELAVIE: il sistema energetico – People ID 482380/2023

Di Cristofalo S., Progetto CELAVIE: la stazione agrometeorologica – People ID482196/2023

Di Cristofalo S., Progetto CNR energy+: il network delle stazioni meteo – People ID355483/2016

Di Cristofalo S., Progetto CNR Energy+: metodo di calcolo semplificato per la scomposizione della radiazione solare globale e la stima della produzione da fotovoltaico. – People ID356139/2016

Fanchiotti A., Di Cristofalo S., 1999. Deriving daylight frequency distribution curves from solar radiation data to be used to implement energy saving policies in palermo, italy.

John Ed-Idoko1* , Solomon SG1 , Annune PA1 , Christiana ON2. Breeding techniques of common carp (*Cyprinus carpio*) using different approaches. *Journal of fisheries research* 2021

Manuale FAO Acquaponica 2019 <https://www.fao.org/fishery/en/publications/31589>

Micheli F., Gherardi F., Vannini M. Growth and reproduction in the freshwater crayfish, *Potamon fluviatile* (Decapoda, Brachyura). *Freshwater Biology* (1990) 23, 491-50.

Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*.

Steadman, R.G., 1979: The Assessment of Sultriness, Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. *Journal of Applied Meteorology*.

Versienti Loredana e Di Cristofalo Salvatore. Acquisizione di dati meteo per l'efficientamento energetico del CNR - People ID352767/2016

Davis Instruments. Derived variables in Davis weather products - Application note n. 28 Davis Instruments DS6331_6332, Rev. A, 3/29/19

Davis Instruments DS6345, 6345CS (Rev. C, 1/29/07)

Davis Instruments DS6420 (Rev. E, 1/5/07)

Davis Instruments DS6440 (Rev. E, 1/5/07)

Davis Instruments DS6470 (Rev. F, 1/5/07)

Davis Instruments DS6820 (Rev. A, 2/1/17)

Davis Instruments Part Number: 07395.267

Davis Instruments Document Number: 07395.359 Rev. A(2/11/19)

Davis Instruments Part Number: 7395.299

Document Part Number: 7395.289 Rev. B (4/13/17)

Davis Instruments Part Number: 07395.158C

Davis Instruments Part Number: 7395.110

7. Sitografia

<https://www.projetcelavie.eu>

<https://www.italietunisie.eu/it/progetti/i-progetti/celavie/>

www.facebook.com/ProjetCelavie

www.instagram.com/projetcelavie

www.youtube.com/channel/UCWl6ylchvqFVQ5U9eY4ndBg

<https://vrm.victronenergy.com/installation/237477/embed/db7ebc49>

https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en

<http://stazioni4.soluzionimeteo.it/cnrpalermo/grafici.html>.

<https://www.meteobridge.com>

<https://www.davisinstruments.com>