

Erasmus+

SESAME

Encourage the deployment of agricultural projects in urban & peri-urban areas through the development of innovative training

MODULE 6*

SOILLESS CULTIVATION TECHNIQUE : AQUAPONICS

(Tecnica di coltivazione fuori suolo: l'acquaponica - *In lingua italiana)

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Erasmus+



INSTITUT RÉGIONAL
DE FORMATION À L'ENVIRONNEMENT
ET AU DÉVELOPPEMENT DURABLE



Indice

1	Introduzione all'acquaponica	3
2	Il funzionamento acquaponico	6
2.1	La vita acquatica: i pesci.....	7
2.1.1	La biologia dei pesci.....	7
2.1.2	L'allevamento dei pesci.....	11
2.2	I protagonisti invisibili.....	13
2.2.1	Il ciclo dell'Azoto	13
2.2.2	L'ammonica nel sistema acquaponico.....	15
2.2.3	Il controllo dei nitriti e dei nitrati	16
3	La coltivazione fuori suolo e su suolo: definizioni	18
4	La qualità dell'acqua	20
4.1	Il pH	20
4.2	La durezza dell'acqua: parametro KH	21
4.3	L'ossigeno disciolto	21
4.4	La temperatura dell'acqua.....	21
4.5	L'ammoniaca	22
4.6	I nitriti e i nitrati.....	22
5	La progettazione di impianti acquaponici	23
5.1	I sistemi di filtraggio solido e biologico	23
5.2	Le tipologie di sistemi di coltivazione	24
5.2.1	Grow bed	24
5.2.2	DWC	25
5.2.3	NFT.....	26
5.2.4	Vertical tower	28
5.3	L'avvio di un nuovo impianto acquaponico	29
6	Approfondimenti	30
7	Bibliografia.....	31
8	Sitografia	31

1 Introduzione all'acquaponica

Prima ancora di spiegare che cos'è l'acquaponica, vogliamo introdurla e contestualizzarla alcune tematiche mondiali fortemente legate alla necessità di sfamare la popolazione in forte aumento.

La produzione alimentare è legata alla disponibilità di risorse come: suolo, acqua dolce, energia e nutrienti. Il continuo aumento della popolazione e di conseguenza l'aumento della richiesta di cibo, sta erodendo inevitabilmente la disponibilità delle nostre risorse primarie.

Parallelamente al problema del cambiamento climatico, la popolazione mondiale, che secondo le proiezioni raggiungerà i 10 miliardi entro il 2050, si trova a dover affrontare una delle maggiori sfide di questo secolo: garantire una produzione di cibo sufficiente per tutti.

Per nutrire altri due miliardi di persone entro il 2050, la produzione alimentare dovrà aumentare di oltre il 70% a livello globale (FAO 2009). Inoltre, la popolazione rurale mondiale è diminuita dal 66,4% al 46,1% nel periodo compreso tra il 1960 ed il 2015 (FAO 2009).

Nel 2017, le popolazioni urbane rappresentavano più del 54% della popolazione e si prevede che nel 2050 questo dato possa salire fino al 66%. Per garantire la sicurezza alimentare globale, la produzione alimentare totale dovrà quindi aumentare nei prossimi decenni per raggiungere così gli Obiettivi di Sviluppo del Millennio (FAO 2009), come l'eradicazione della povertà estrema e della fame, garantendo allo stesso tempo la sostenibilità ambientale. Inoltre, la produzione alimentare dovrà affrontare anche altre sfide, come ad esempio il cambiamento climatico, l'inquinamento, la perdita di biodiversità, la perdita di impollinatori, l'impoverimento dei terreni arabili e l'aumento della desertificazione. Tutto questo richiede:

- l'adozione di rapidi progressi tecnologici
- produzioni più efficienti e sostenibili
- catene di approvvigionamento alimentare più efficienti
- riduzione del consumo e dell'utilizzo di risorse fossili
- riduzione del consumo di acqua potabile
- maggiore vicinanza tra produttore e consumatore
- recupero della biodiversità e del consumo stagionale

Studi recenti mostrano che l'attuale sistema alimentare, caratterizzato da sprechi ed inefficienze, non è in grado di soddisfare la domanda alimentare globale prevista entro il 2050 e suggeriscono che sarà necessario un ampliamento delle aree agricole. Tuttavia, il degrado delle terre, in combinazione con altri problemi ambientali, sembra rendere questo impossibile. I terreni agricoli attualmente coprono più di un terzo della superficie terrestre del mondo, ma meno di un terzo è coltivabile (circa il 10%) (Banca Mondiale, 2019). Nel corso degli ultimi tre decenni, la disponibilità dei terreni agricoli è diminuita lentamente. L'aratura provoca la perdita di terreno attraverso il vento e l'erosione dell'acqua, con conseguente riduzione della fertilità del suolo. Il maggiore uso di fertilizzanti genera l'inquinamento delle falde acquifere e fenomeni di eutrofizzazione.

In breve, la popolazione globale sta rapidamente crescendo e le città di conseguenza si stanno ampliando. I modelli alimentari stanno cambiando, generando una maggiore domanda di alimenti ad alto impatto ambientale come carne e prodotti lattiero-caseari portando così ad un aumento del gas serra (GHGs), del fabbisogno di suolo e di risorse. Mentre il consumo globale cresce, le

risorse disponibili del mondo rimangono limitate ed esauribili. Diversi studiosi suggeriscono che il modo migliore per ridurre la nostra impronta climatica è attraverso un cambiamento nelle nostre abitudini alimentari, pertanto è necessario limitare il consumo di carne e prodotti lattiero-caseari per l'elevato consumo di acqua (fig. 1.1) ed orientarsi verso una dieta più centrata su prodotti vegetali e sull'allevamento di proteine animali a più basso impatto ambientale. Un esempio è l'acquacoltura che impiega soltanto 400 litri di acqua per produrre un 1 kg di biomassa a differenza invece dell'allevamento di bovini che per produrre lo stesso quantitativo di biomassa consuma 15.500 litri. (fig. 1.1; Engelhaupt, 2008; Garnett, 2011), inoltre ha un'alta efficienza produttiva in termini di risorse consumate (fig. 1.2).

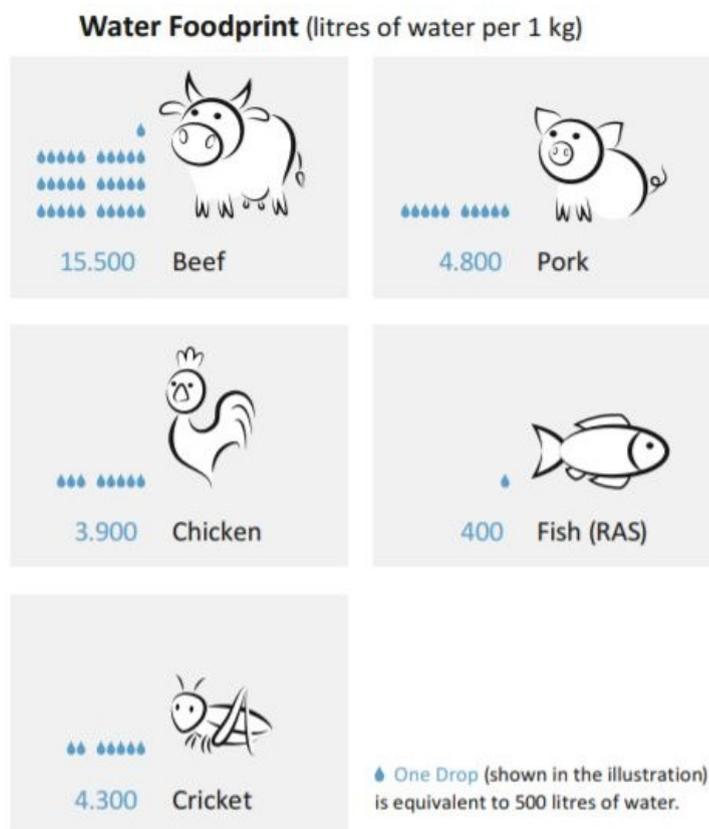


Figura 1.1 Consumo di acqua per kg di carne prodotta (Joyce et al., 2019).

Un altro aspetto molto importante è la distanza percorsa dai prodotti alimentari prima che arrivino sulle nostre tavole. La maggior parte della popolazione urbana in tutto il mondo, per soddisfare le esigenze quotidiane, basa la propria dieta su alimenti che necessitano di un trasporto su lunghe distanze con un conseguente consumo di combustibili fossili.

I lunghi chilometri percorsi incidono negativamente sulla freschezza e sulle qualità organolettiche dei prodotti, andando ad intaccare il loro valore nutrizionale ed il gusto. Producendo invece cibo fresco localmente attraverso un'agricoltura di prossimità ed urbana si può garantire la fornitura di prodotti di alta qualità direttamente in città e riducendo notevolmente la distanza tra produttore e consumatore. Inoltre, un recente rapporto dell'ISPRA 2018 sullo spreco alimentare ha evidenziato che ad oggi circa il 40% del cibo prodotto è sprecato e che tale fenomeno diminuisce drasticamente riducendo la distanza tra chi produce e chi consuma.

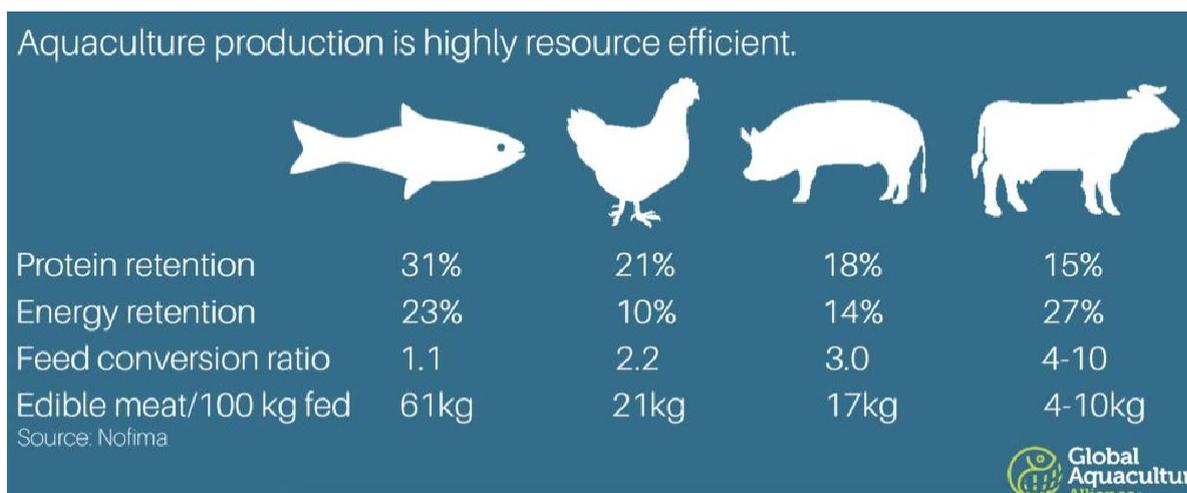


Figura 1.2 Efficienza produttiva dell'acquacoltura, a confronto con altri sistemi produttivi (fonte: *Global Aquaculture Alliance*).

In relazione alla fornitura alimentare mondiale, l'acquacoltura fornisce attualmente più proteine di pesce della pesca di cattura (FAO 2016). A livello globale, il consumo pro capite di pesce continua a crescere con un tasso medio annuo del 3,2% (1961–2013), che è il doppio del tasso di crescita della popolazione. L'acquacoltura fornisce quindi una possibile soluzione per soddisfare l'aumento della domanda di proteine del mercato.

Con la popolazione globale stimata a raggiungere 8,3–10,9 miliardi di persone entro il 2050, lo sviluppo sostenibile dell'acquacoltura e dell'agricoltura necessita l'ottimizzazione in termini di efficienza della produzione, ma anche riduzioni di utilizzo delle risorse limitate, in particolare, acqua, terra e fertilizzanti.

L'acquaponica, in questi termini, può rappresentare la scelta migliore per riuscire a migliorare l'efficienza produttiva. Un consumo inferiore di suolo e di acqua, un aumento esponenziale della produzione per metro quadrato rispetto all'agricoltura tradizionale e la possibilità di applicazione svincolata dallo spazio fa intuire come le città di domani possano diventare i nuovi poli produttivi e resilienti (fig.1.3).



Figura 1.3 Le città di domani: poli produttivi e resilienti (fonte: *Aquaponic Design*).

2 Il funzionamento acquaponico

L'acquaponica è considerata una delle principali tecnologie di produzione alimentare che potrebbe cambiare la nostra vita (van Woensel et al. 2015).

Uno dei maggiori punti di forza risiede nel risparmio idrico che può superare il 90% rispetto all'agricoltura tradizionale. Il consumo attuale di acqua dolce è suddivisibile nel seguente modo (FAO, 2002):

- 92% per la produzione agricola
- 4,4% per la produzione industriale
- 3,6% per l'uso domestico

Alla luce di questi dati, l'impatto che l'applicazione di sistemi acquaponici può generare nel settore agricolo sono notevoli, in particolare per la produzione di piante orticole.

L'acquaponica è l'unione di acquacoltura ed idroponica. La prima prevede l'allevamento semi-intensivo o intensivo di pesce, la seconda invece la coltivazione di ortaggi in assenza di suolo agricolo. Per quest'ultimo punto l'acquaponica rientra tra i sistemi di coltivazione fuori suolo. In particolare, quando parliamo di idroponica si intendono tutti quei metodi dove le piante ricavano i nutrienti per crescere mediante soluzioni nutritive disciolte in acqua e prodotte tramite processi di sintesi industriale o estrazione mineraria. In acquaponica invece, i nutrienti fondamentali per la crescita delle piante vengono forniti dagli scarti organici (adeguatamente convertiti) prodotti dai pesci.

Un impianto acquaponico è un sistema a ricircolo RAS (*Recirculating Aquaculture System*), ovvero l'acqua, grazie all'impiego di una o più pompe, viene prelevata dalla vasca di acquacoltura, trasportata prima nel sistema di filtraggio solido e biologico, poi nei sistemi di coltivazione ed infine fa ritorno nella vasca di allevamento dei pesci depurata da alcune componenti altrimenti tossiche per la vita dei pesci (fig. 2.1). Gli scarti organici prodotti dai pesci non sono direttamente assimilabili dalle piante, ma devono essere prima convertiti. Questo compito viene svolto da due principali comunità batteriche (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) che convertono l'ammoniaca, il principale componente degli scarti organici, prima in nitrito e poi in nitrati. Solo quest'ultimo viene assorbito in maniera importante dalle piante.

Vedremo nel dettaglio in seguito i sistemi di filtraggio e l'azione delle comunità batteriche, ma per ora possiamo anticipare che la filtrazione biologica deve essere accompagnata da una filtrazione meccanica, che permetta di diminuire il più possibile la quantità di solidi sospesi, operazione molto importante al fine di mantenere la buona qualità dell'acqua. A seconda delle specie animali e vegetali scelte, il sistema andrà calibrato in modo da assicurare il corretto apporto di nutrienti alle piante.

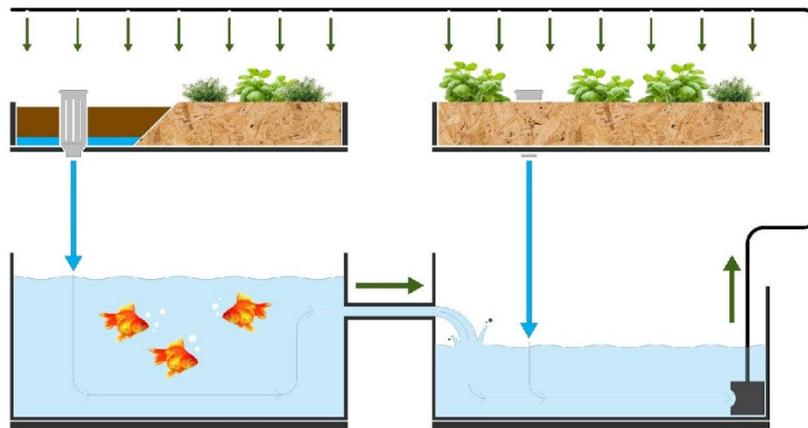


Figura 2.1 Schema base di un impianto acquaponico con sistema a ricircolo RAS (fonte: Aquaponic Design).

Approfondimento: Acquaponica e Idroponica: differenze e similitudini (video youtube)
<https://www.youtube.com/watch?v=WQNA5DOx6DY>

2.1 La vita acquatica: i pesci

2.1.1 La biologia dei pesci

Le specie ittiche che andremo a trattare fanno parte della classe dei pesci ossei. Essi presentano come nell'immagine sottostante un corpo schiacciato lateralmente, una bocca tendenzialmente apicale ed un apparato branchiale rivestito esternamente da un opercolo, uno scudo osseo che svolge la funzione di proteggere le branchie dall'ambiente esterno. Presentano una o più pinne dorsali, così come possono avere una o due pinne anali, pinne pettorali, ventrali e la caudale (fig. 2.2).

I pesci presentano tre strati di cute: epidermide, derma e ipoderma. L'epidermide è rivestito da uno strato di ghiandole mucose che hanno il ruolo di produrre un muco il quale svolge diverse funzioni, tra le quali la più importante è quella di creare uno strato protettivo (film) nei confronti di agenti patogeni esterni. Un'altra funzione inoltre è quella di facilitare lo scivolamento del pesce nell'acqua. Subito sotto lo strato di ghiandole mucose sono presenti le scaglie, che possono essere di 2 tipologie: cicloidi e ctenoidi.

Un aspetto interessante delle scaglie è che presentano degli otoliti, ovvero sottili rilievi concentrici, che come negli alberi ci possono indicare l'età del pesce. I pesci presentano pinne pari ed impari, dove le prime servono come organi stabilizzatori e propulsori (pettorali e pelviche), e le seconde solo come stabilizzatori (anali e dorsali) dell'assetto del pesce, tranne per la pinna caudale, la quale rappresenta il principale organo propulsore dei pesci. Nella figura 2.3 sono riportati alcuni esempi di pinne caudali presenti in natura, anche se per il 90% dei casi ci ritroveremo con specie ittiche che pinna Omocerca, come rappresentata nell'immagine con la lettera C.

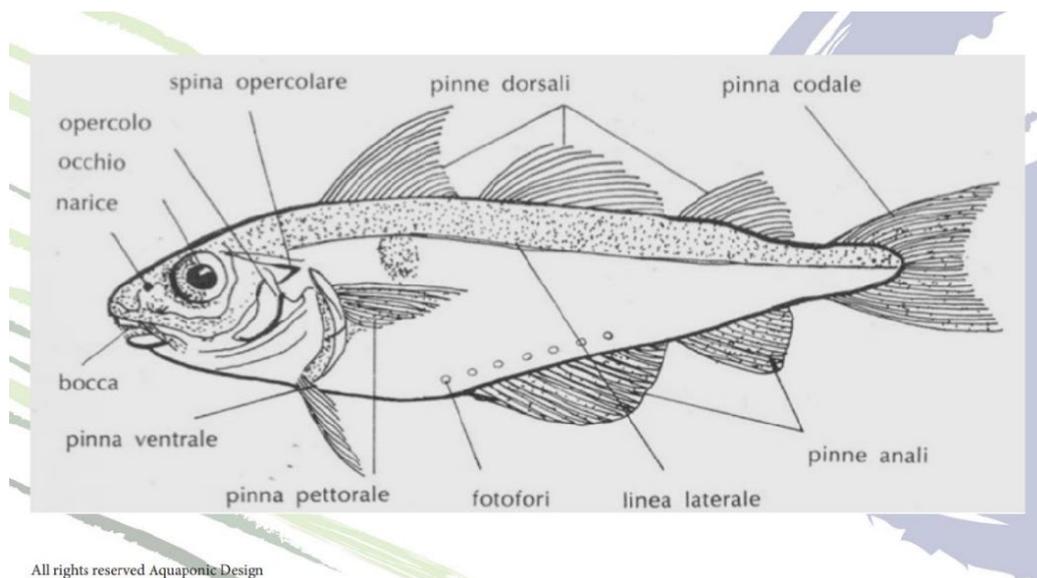


Figura 2.2 Descrizione anatomica dei pesci ossei (fonte: Aquaponic Design).

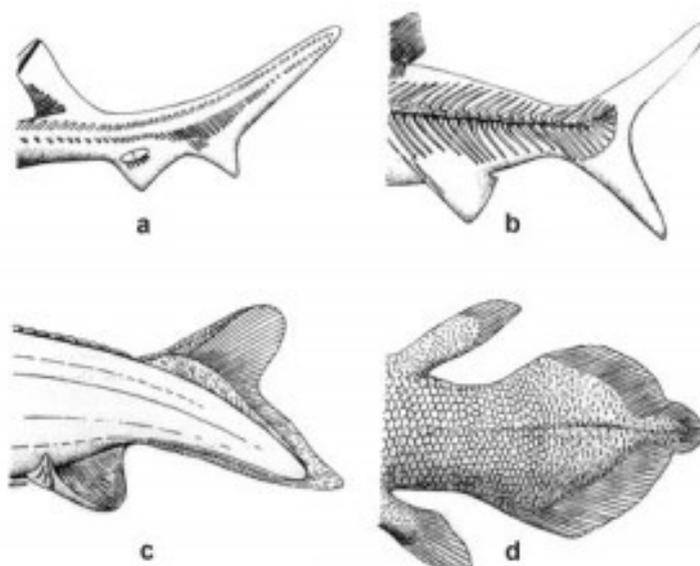


Figura 2.3 Esempi di pinne caudali (fonte: Aquaponic Design).

Tutti i pesci presentano una muscolatura rossa ed una bianca, chiamata così in base alla maggiore o minore presenza di pigmenti respiratori come emoglobine e mioglobina, permettendo così di riconoscerle ad occhio nudo. La muscolatura rossa permette uno sforzo prolungato nel pesce, grazie alle riserve di ossigeno presenti nel muscolo e rese possibili dai pigmenti respiratori. La muscolatura bianca permette di far compiere al pesce movimenti fulminei ma di breve durata, dovuto alla minore presenza di pigmenti. Da questo si può dedurre come pesci pelagici quali il tonno ad esempio presentano una maggiore quantità di muscolatura rossa, mentre specie bentoniche come ad esempio la sogliola, che di natura hanno un comportamento molto stazionario, dovuto alla necessità di mimetizzarsi per cacciare e nascondersi, avranno una prevalenza di muscolatura bianca.

L'apparato digerente (fig. 2.4) invece, si compone di:

- bocca
- esofago

- stomaco
- intestino medio
- intestino terminale
- apertura anale

L'attitudine alimentare può comportare una modifica di questa disposizione, infatti le specie erbivore hanno l'intestino medio e terminale molto sviluppati, in quanto per digerire tutta la componente vegetale, in particolare la cellulosa, avranno bisogno di molto più tempo ed energia per poter assimilare la sostanza nutritiva. Al contrario, invece, accade nelle specie carnivore, che presentano l'intestino medio e terminale più corti e meno sviluppati, in quanto necessitano di meno tempo per assorbire il nutrimento. Un altro aspetto interessante riguarda la presenza di appendici piloriche, ovvero estroflessioni della parete intestinale che servono per aumentare l'assorbimento delle sostanze nutritive.

APPARATO DIGERENTE

La struttura:

- _ bocca (ingresso, sminuzzamento meccanico)
- _ esofago (collegamento)
- _ stomaco (sminuzzamento chimico)
- _ intestino medio (assorbimento nutrienti)
- _ intestino terminale (ricaptazione acqua)
- _ apertura anale (eliminazione scarti non digeriti/assorbiti).

All rights reserved Aquaponic Design

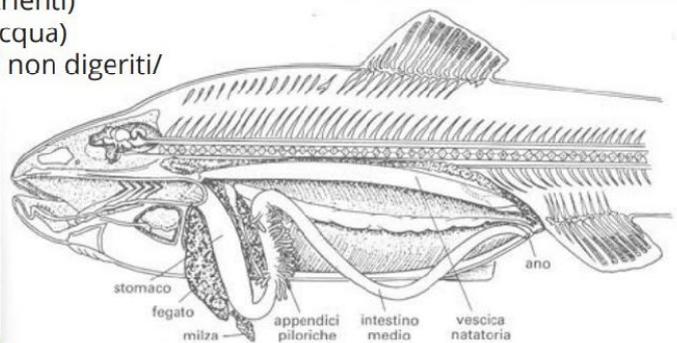


Figura 2.4 Apparato digerente (fonte: Aquaponic Design).

La respirazione dei pesci avviene tramite le branchie, formate da lamelle primarie e secondarie, all'interno delle quali avviene lo scambio gassoso: il pesce rilascia sostanze di scarto quali ammoniaca ed assimila ossigeno ed elementi importanti come il calcio. L'apparato respiratorio svolge una funzione molto importante in quanto permette la completa purificazione del sangue ed il suo arricchimento.

Il sistema circolatorio nei pesci è chiuso: il sangue ossigenato grazie al cuore viene pompato dall'apparato branchiale verso gli organi, passando dalle arterie alle vene ed infine ai capillari, dove avviene lo scambio di sostanze e gas. Una volta avvenuto lo scambio, il sangue "sporco" viene rimandato alle branchie per poter ricominciare il ciclo.

La riproduzione nelle specie ittiche che andremo a trattare avviene principalmente per fecondazione esterna, ovvero la femmina depone le uova ed i maschi rilasciano al di sopra lo sperma per fecondarle (fig. 2.5).

Gli stadi di crescita di un pesce sono diversi. In particolare appena dopo la schiusa dell'uovo

si ha la larva, raffigurata nell'immagine, la quale presenta un sacco vitellino che ne permette lo sviluppo nei primi giorni di vita. Durante l'assorbimento di quest'ultimo le larve avranno un comportamento stazionario infatti non avranno la necessità di alimentarsi ed il suo assorbimento varia da qualche giorno a 1 - 2 settimane in base alla specie ittica. Dopo lo stadio larvale, che in genere dura 2-3 settimane, abbiamo l'avannotto, ovvero un esemplare di piccole dimensioni che però presenta già tutte le caratteristiche morfologiche dell'adulto.

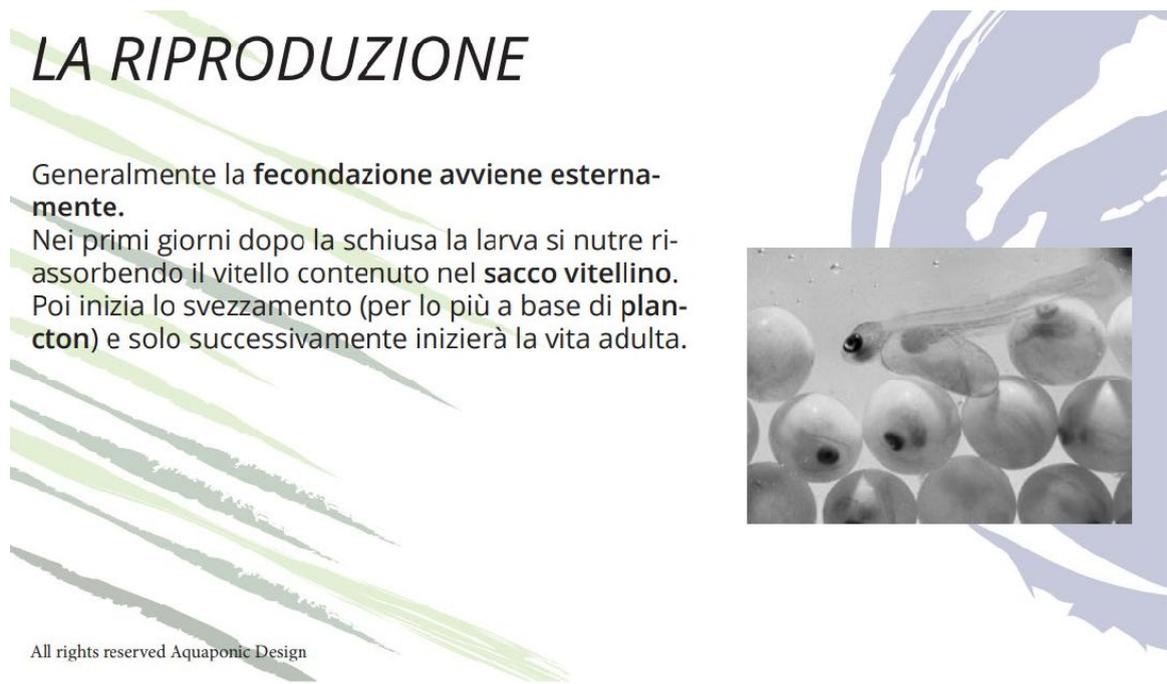


Figura 2.5 Riproduzione (fonte: Aquaponic Design).

Nei pesci avviene un fenomeno chiamato osmoregolazione: questo consiste nella capacità di far rimanere costante la propria pressione osmotica, ovvero di mantenere una determinata concentrazione di liquidi, sali e sostanze organiche all'interno del proprio corpo rispetto alla pressione esterna. Gli ambienti acquatici si suddividono in:

- **ipotonici**, ovvero l'acqua dolce, dove la concentrazione di sali all'esterno è minore rispetto alla concentrazione all'interno del pesce;
- **ipertonici**, acqua salata e salmastra, dove la concentrazione di sali è maggiore all'esterno rispetto che all'interno del corpo del pesce.

Di conseguenza le specie ittiche si distinguono in:

- **eurialini**, specie in grado di sopportare grossi sbalzi di salinità nell'acqua;
- **stenoalini**, specie che non sopportano grossi sbalzi di salinità.

Inoltre, nei pesci è presente un ulteriore organo di senso molto importante: la linea laterale. Essa rappresenta una sorta di sesto organo di senso che permette di captare gli sbalzi di pressione nell'acqua, quindi molto utile per cacciare e prevenire attacchi da parte di predatori. La linea laterale è un sistema di recettori sensoriali, detti neuromasti, distribuiti lungo una linea che percorre entrambi i fianchi dell'animale e si dirama in prossimità del muso.

Per controllare il suo assetto in acqua, il pesce utilizza la vescica natatoria (fig. 2.6). Questa consiste in una camera d'aria a parete molle posta dorsalmente, che si è evoluta come strategia di galleggiamento per modificare il rapporto peso/volume del proprio corpo.

LA VESCICA NATATORIA

È una camera d'aria a parete molle posta dorsalmente, che si è evoluta come strategia di galleggiamento per **modificare il rapporto peso/volume** del proprio corpo.

Si differenzia in:

- _ **fisostomi**: collegata al tubo digerente per mezzo di un dotto.
- _ **fisoclisti**: separata dal tubo digerente.

La parete della vescica natatoria è **costituita da 3-4 strati di cellule** che la rendono impermeabile ai gas.

All rights reserved Aquaponic Design

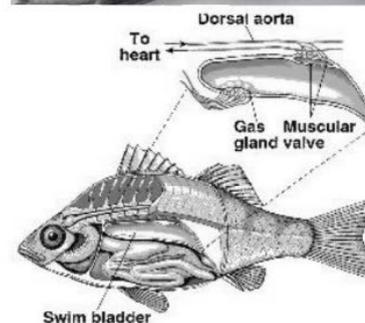


Figura 2.6 Vescica natatoria (fonte: Aquaponic Design).

2.1.2 L'allevamento dei pesci

In questo capitolo andremo ad osservare rapidamente le caratteristiche e le tecniche di gestione di alcune delle specie ittiche più facilmente allevabili in acquaponica. Sicuramente una delle specie di pesce con cui è più facile intraprendere la propria esperienza da acquaponico è il pesce rosso (*Carassius auratus*; fig. 2.7). Appartenente alla famiglia dei ciprinidi, in natura vive in laghi e torrenti, e può raggiungere i 30 anni di età. Il pesce rosso resiste a diversi range di temperatura, a carenza di ossigeno e ad alti livelli di inquinanti in acqua come nitriti e nitrati. Infatti, è in grado di vivere anche sotto il ghiaccio nella stagione invernale e di reggere temperature fino a 40°C in estate. Si riproduce per fecondazione sessuata esterna, ovvero le femmine rilasciano le uova su piante ed oggetti galleggianti ed i maschi le fecondano con il loro liquido seminale. Dopo un lasso di tempo che va dai 3 fino ai 7-8 giorni, in base alla temperatura dell'acqua, nascono delle larve che assorbono il sacco vitellino entro 2 – 3 giorni, per poi salire in superficie e prendere la loro prima boccata d'aria che servirà per gonfiare la loro vescica natatoria.



Figura 2.7 Pesce rosso (*Carassius auratus*).

L'alimentazione per il primo mese è a base esclusivamente di fitoplancton e zooplancton, per passare poi ad un graduale svezzamento sostituendoli con del mangime secco di granulometria pari a 1 - 2 mm. In questa prima fase i pesci possono mangiare fino al 5% del loro peso corporeo come razione giornaliera, per diminuire poi con l'aumentare delle dimensioni del corpo ed arrivare fino al 2%. Per alimentare i pesci è consigliato dar loro piccole quantità più volte nel corso della giornata, fino a 5- 6 razioni. È importante ricordarsi che quando la temperatura dell'acqua scende al di sotto degli 8°C, i pesci rossi smettono di alimentarsi.

La maturità sessuale viene raggiunta in media dopo il primo anno di vita e la prima frega (riproduzione) avviene intorno a metà aprile a seguito dell'aumentare delle temperature, ovvero quando l'acqua raggiunge i 16-18°C. La frega dura massimo 48 ore, ed in questo lasso di tempo i riproduttori cessano di alimentarsi. Durante la riproduzione più maschi rincorrono le femmine, spingendole con il muso sul loro ventre per stimolarle a deporre le uova. Al termine della riproduzione i pesci si posizioneranno sul fondo per 1-2 giorni senza nutrirsi e per riprendere le energie.

La riproduzione invece non viene assicurata quando il pH dell'acqua si aggira intorno al 6, infatti i pesci rossi riescono a resistere a questi valori sub acidi ma andranno regolati a seconda di ciò che si vuole ottenere: aumento della produzione vegetale oppure la riproduzione.

La struttura delle vasche di allevamento può differire molto in termini di dimensioni e materiali, in ogni caso l'importante è assicurare un'altezza della colonna d'acqua di almeno 80-100 cm.

Approfondimento: Come allevare i pesci rossi

Parte 1: <https://www.youtube.com/watch?v=iBKDHoDOFqU>

Parte 2: <https://www.youtube.com/watch?v=qx5tHWsShmo>

Un'altra specie ittica con cui è relativamente facile iniziare è la carpa (*Cyprinus carpio*; fig. 2.7). La carpa raggiunge la maturità sessuale dopo 2-4 anni di età, molto tardi rispetto ad altre specie. I maschi solitamente maturano un anno prima delle femmine. Il periodo della riproduzione inizia a metà maggio e dura fino alla fine di giugno (a volte fino ai primi giorni di luglio). Ogni femmina depone intorno a 100.000-200.000 uova per kg di peso e misurano circa 1,5 mm di diametro. Le larve nascono circa 6 giorni dopo la deposizione. Per quanto riguarda valori dell'acqua, tecniche di riproduzione, allevamento, svezzamento ed alimentazione si possono considerare gli stessi valori del pesce rosso con l'unica differenza che riguarda la taglia del pesce, infatti le carpe presentano ovviamente un accrescimento maggiore dal punto di vista della biomassa, mantenendo però la loro capacità di alimentazione giornaliera pari al 2% rispetto al peso corporeo.



Figura 2.7 Carpa (*Cyprinus carpio*).

Altri pesci utilizzabili sono i guppy (*Poecilia reticulata*; fig. 2.8), originaria dal Sud America, è una specie molto interessante per gli impianti di piccole dimensioni soprattutto domestici a fini ornamentali e per fitodepurare l'aria degli ambienti. I guppy sono particolarmente adatti per realizzare piccoli impianti indoor per la coltivazione di fogliose come insalate e per piante ornamentali. Vivono bene in spazi ristretti, a differenza dei pesci rossi che invece richiedono dei volumi maggiori di acqua. Le temperature ottimali per questa specie tropicale sono comprese tra i 24 ed i 28 °C, con minime di 13° e massime di 40°C. I valori di KH e pH ottimali devono essere tra 7 e 8 mentre l'ossigeno disciolto deve rientrare nel range 8-10 mg/l come per pesci rossi e carpe. I maschi si differiscono dalle femmine per grandezza e colore, infatti in lunghezza sono la metà delle femmine e presentano colori molto più spiccati, inoltre hanno un corpo più slanciato rispetto alle femmine che presentano invece un ventre più gonfio. I guppy sono una specie molto prolifica, infatti le femmine adulte possono produrre fino a 80 avannotti ogni 40 giorni e con una sopravvivenza elevata purché nello specchio d'acqua siano presenti delle piante ed oggetti sommersi che creino dei nascondigli per gli avannotti. La vita media di questa specie è di 3-4 anni e la maturità sessuale viene raggiunta già dopo 4 mesi di vita.



Figura 2.7 Guppy (*Poecilia reticulata*).

2.2 I protagonisti invisibili

2.2.1 Il ciclo dell'Azoto

Il processo biologico più importante in acquaponica è il processo di nitrificazione, che è un componente essenziale del ciclo globale dell'azoto visto in natura. L'azoto (N) è un elemento chimico essenziale per tutte le forme di vita. È presente in tutti gli amminoacidi, costituenti principali delle proteine, indispensabili per molti processi biologici chiave per animali, come la regolazione degli enzimi, la comunicazione tra le cellule e la costruzione di strutture. L'azoto è il più importante dei nutrienti inorganici per tutte le piante. L'azoto, in forma di gas, è in realtà l'elemento più abbondante presente in atmosfera terrestre che è composta per circa il 78% da

azoto, mentre l'ossigeno è solo circa il 21%. Eppure, nonostante l'azoto essendo così abbondante, è presente solo nell'atmosfera come azoto molecolare (N_2), che è molto stabile, il triplo legame di atomi di azoto e non è accessibile alle piante. Pertanto, l'azoto nella sua forma N_2 va modificato affinché le piante possano utilizzarlo per la crescita. Questo processo è chiamato fissazione (fig. 2.8).

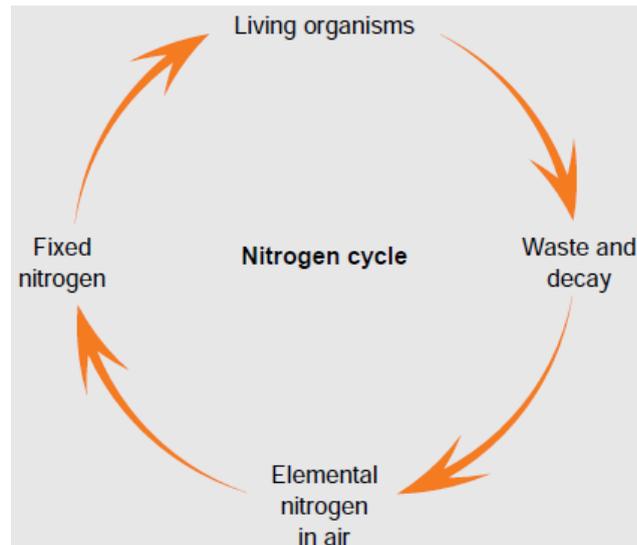


Figura 2.8 Ciclo dell'Azoto semplificato (fonte: *Akuadulza* – il portale italiano dell'acquaponica).

La fissazione dell'azoto è facilitata da batteri che ne alterano chimicamente la forma N_2 aggiungendo altri elementi come idrogeno o ossigeno, creando così nuovi composti chimici quali l'ammoniaca (NH_3) e il nitrato (NO_3^-) che le piante possono usare facilmente. L'ammoniaca viene metabolizzata da un gruppo specifico di batteri, che è molto importante per l'acquaponica, chiamati batteri nitrificanti. I batteri prima convertono l'ammoniaca in nitriti (NO_2^-) e poi in composti nitrati (NO_3^-).

I batteri nitrificanti, che vivono in diversi ambienti come terra, sabbia, acqua e aria, sono un componente essenziale della nitrificazione, processo che converte rifiuti vegetali e animali in sostanze nutritive accessibili per le piante (fig. 2.9).

Nell'acquaponica i rifiuti di origine animale sono le deiezioni dei pesci rilasciati nelle vasche di coltura. I batteri nitrificanti, quindi attivano la conversione dell'ammoniaca presente negli scarti del pesce in nitrati, facilmente assimilabili da parte delle piante.

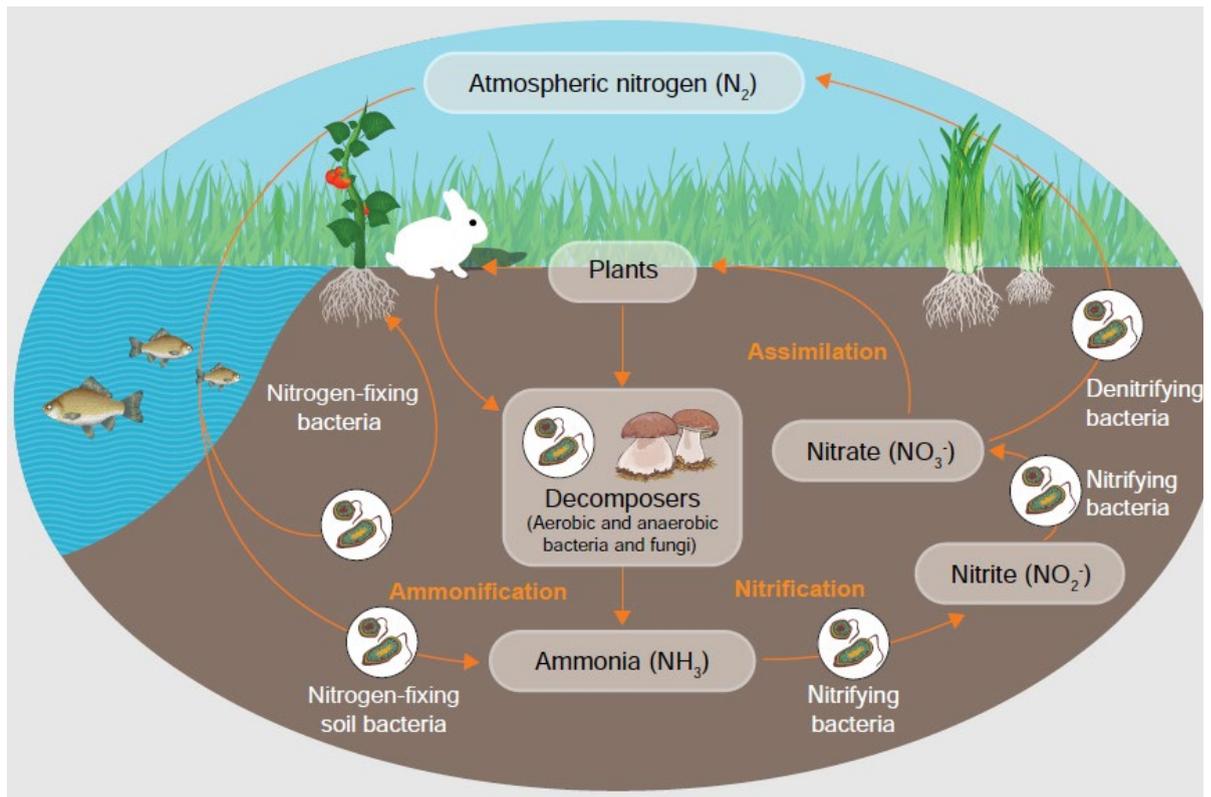


Figura 2.9 Rappresentazione dettagliata del ciclo dell'Azoto (fonte: Akuadulza – il portale italiano dell'acquaponica).

2.2.2 L'ammonica nel sistema acquaponico

Una delle principali preoccupazioni nei sistemi a ricircolo e di conseguenza anche nei sistemi acquaponici è la rimozione dell'ammoniaca, un prodotto di scarto metabolico del pesce. L'ammoniaca si accumula e può raggiungere livelli tossici per la vita animale a meno che non venga rimossa tramite trasformazione. In particolare si parla di processo di nitrificazione (riferito più in generale come biofiltrazione), in cui l'ammoniaca viene ossidata prima in nitrito (ancora tossico) e poi in nitrato. Quest'ultimo viene poi assorbito dalle radici delle piante che crescendo purificano l'acqua garantendo un ambiente ottimale anche per la proliferazione dei pesci. L'ammoniaca esiste in due forme: una forma non ionizzata (NH_3) che è tossica per i pesci e una forma ionizzata (NH_4^+) che ha bassa tossicità per i pesci. Queste due formano l'azoto ammoniacale totale ed il rapporto delle due forme varia al variare di pH, temperatura e salinità.

L'ammoniaca è convertita, nei sistemi di ricircolo, con biofiltri nitrificanti: dispositivi progettati per promuovere al loro interno lo sviluppo di comunità microbiche in grado di ossidare l'ammoniaca in nitrito (NO_2^-), e dopo il nitrito a nitrato (NO_3^-), forma assimilabile dalle piante (fig. 2.10). Queste comunità di batteri nitrificanti sono dette chemiolitotrofi e comprendono specie dei generi *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrobacter* e *Nitrococcus*. Nei biofiltri, materiali solidi come grani di sabbia, pietre, elementi di plastica (biocarrier e bioballs) sono utilizzati come substrati di proliferazione per i batteri (biofiltro), in quanto forniscono un'elevata superficie, per unità di volume occupato, per la crescita batterica, questo valore viene indicato con SSA (tanto più il numero è alto tanto più l'efficienza del materiale è alta).

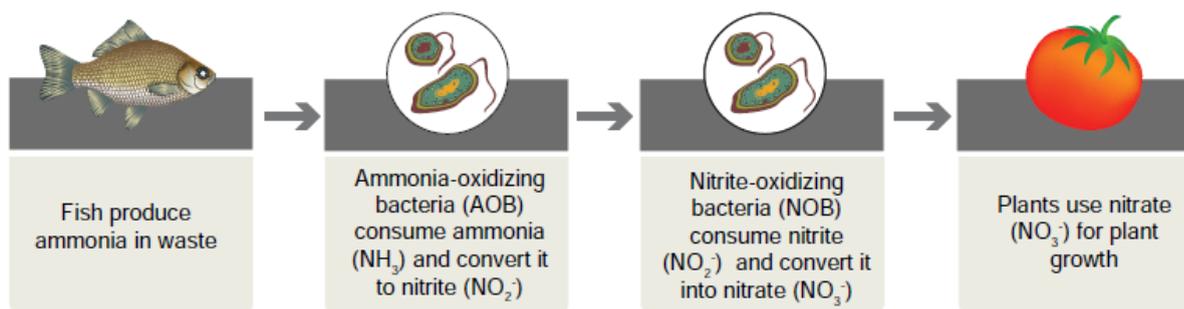


Figura 2.10 Processo di nitrificazione in un sistema acquaponico (fonte: Akuadulza – il portale italiano dell’acquaponica).

I biofiltri funzionano in modo ottimale:

- ad una temperatura compresa tra 18 e 23°C
- ad un intervallo di pH compreso tra 7 e 9
- ad un valore di ossigeno disciolto tra 8 e 10 mg/l.

La nitrificazione è un processo che produce acido, pertanto una base alcalina deve essere aggiunta frequentemente, a seconda della velocità di alimentazione, per mantenere valori di pH relativamente stabili.

Nel sistema acquaponico la presenza delle radici fornisce una superficie aggiuntiva per la proliferazione batterica, inoltre una certa quantità di ammoniaca viene assorbita dalle piante. Tuttavia, il contributo di questi fattori per il trattamento delle acque in acquaponica non sono stati ancora studiati. Pertanto, i biofiltri del sistema acquaponico dovrebbero essere dimensionati basandosi sugli standard per sistemi a ricircolo, ovvero senza tenere in considerazione la presenza delle piante e dei loro substrati di appoggio.

2.2.3 Il controllo dei nitriti e dei nitrati

Le concentrazioni di nitriti devono essere controllate quotidianamente. Il grado di tossicità per i pesci varia a seconda della specie. I pesci gatto ad esempio sono molto sensibili ai nitriti e ne risentono già a valori di 0,5-1 mg/l, mentre specie come il pesce rosso possono sopportare valori più alti. Concentrazioni crescenti di nitriti sono un segnale di allarme importante, infatti ci indica che il biofiltro non funziona correttamente o non è abbastanza grande per gestire la quantità di scarti organici prodotti. In questo caso, come per l'accumulo di ammoniaca, è importante controllare il pH, l'alcalinità e l'ossigeno disciolto nel biofiltro. Inoltre è consigliabile ridurre l'alimentazione, fare cambi d'acqua e aggiungere inoculi di batteri al biofiltro. L'efficienza di nitrificazione è influenzata dal pH. L'intervallo ottimale per la nitrificazione è compreso tra 7 e 9. Sebbene la maggior parte degli studi indica che l'efficienza di nitrificazione è maggiore a valori superiori a 8, in acquaponica molto spesso si tende ad avere un valore di pH più basso in quanto si deve cercare il giusto compromesso tra le esigenze dei diversi organismi. La nitrificazione inoltre, è più efficace quando l'acqua è satura di ossigeno disciolto, quindi è molto importante assicurare nei biofiltri un elevato livello di aerazione. I sistemi di “flusso e deflusso” (sifone a campana) dei letti di crescita, ad esempio, espongono i batteri nitrificanti a livelli elevati di ossigeno atmosferico durante la fase di scarico.

Il nitrato è il prodotto finale della nitrificazione e non viene controllato quotidianamente visto il suo basso livello di tossicità. Le carpe e pesci rossi infatti sopportano, senza problemi, anche

valori di 200-300 mg/l. Generalmente è difficile registrare valori così alti in impianti acquaponici ben piantumati e strutturati ma nel caso in cui i valori dovessero raggiungere livelli troppo alti è possibile accorgersene in quanto i pesci si sfregano sul fondo. In casi di valori eccessivi, dovremo procedere con le analisi dei valori dell'acqua, aumentare la presenza di piante, interrompere l'alimentazione e provvedere ad un ricambio di acqua del 10%. Le acque con elevato contenuto di nitrato promuovono la crescita di verdure a foglia verde, mentre basse concentrazioni di nitrati promuovono la fioritura e la fruttificazione delle piante da frutto come ad esempio i pomodori.

3 La coltivazione fuori suolo e su suolo: definizioni

Prima di trattare nello specifico argomenti legati alla scelta e alla gestione delle piante in acquaponica, si ritiene opportuno chiarire alcune questioni relative alle differenze tra agricoltura tradizionale su suolo e agricoltura in fuori suolo. Per fuori suolo si intendono tutti quei tipi di coltivazione che non sono vincolati alla presenza di una superficie agricola (fig. 3.1). Tra le colture in fuori suolo possiamo distinguere due categorie:

- quelle che fanno uso di un substrato (ad es. lana di roccia, terriccio, fibra di cocco, ecc.)
- quelle che non fanno uso di substrato, dove classicamente le radici delle piante sono a diretto contatto con la soluzione nutritiva (acqua + elementi nutritivi), la cosiddetta idroponica.



Figura 3.1 Coltivazione fuori suolo, in vertical tower (fonte: Aquaponic Design).

Tra le colture in fuori suolo, naturalmente, ritroviamo anche l'acquaponica. Questo tipo di coltivazione in fuori suolo, che come abbiamo visto nei precedenti capitoli può essere sia con che senza substrato, è l'unico sistema in fuori suolo, ad oggi abbastanza diffuso e affermato, in cui gli elementi nutritivi per le piante non derivano da processi di sintesi industriale o da estrazione mineraria, ma derivano quasi esclusivamente (per definizione almeno più del 50%) dagli scarti prodotti dai pesci, ed è per questo che si caratterizza per un alto livello di sostenibilità ambientale.

L'acquaponica, così come gli altri sistemi in fuori suolo, si differenzia dall'agricoltura tradizionale per via di numerosi vantaggi. Infatti, partendo dalle produzioni ottenibili, queste risultano più abbondanti in termini di quantità e qualità. Questo è dovuto grazie al pieno controllo che si ha dell'ambiente radicale (ad es. ossigeno, pH, EC, ecc.) rispetto al suolo, dove in alcuni casi può influire invece negativamente sul benessere delle radici. Inoltre, nel fuori suolo possiamo avere un controllo completo sulla distribuzione dei nutrienti senza alcun effetto di "mediazione" da parte del suolo nel rapporto tra l'agricoltore e la pianta. Parlando sempre di

qualità sono da sottolineare alcuni aspetti legati al maggiore igiene dei prodotti in fuori suolo in quanto è minimo (quasi inesistente) il rischio di venire in contatto con contaminanti pericolosi per la salute umana. Nell'agricoltura in campo invece, questi potrebbero derivare spesso dall'uso di acqua di scarsa qualità o dall'applicazione di fertilizzanti organici o inorganici inquinati.

Tra gli altri vantaggi dei sistemi in fuori suolo c'è sicuramente una maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse, in particolare acqua ed elementi nutritivi. Partendo da questi ultimi, nei sistemi su suolo si osserva un'elevata perdita di nutrienti dovuta principalmente alla lisciviazione, percolazione e al ruscellamento superficiale. Inoltre, alcuni elementi tendono a rimanere fissati negli strati superficiali del terreno restando spesso indisponibili per le piante. Tutto questo si traduce oltre che in un spreco economico, in quanto gran parte del fertilizzante (organico o inorganico) acquistato non arriverà mai alla pianta, anche in un inquinamento ambientale che spesso porta a gravi fenomeni di eutrofizzazione. Tutto questo nei sistemi di coltivazione in fuori suolo non avviene e l'efficienza d'uso dei nutrienti è massima (naturalmente facciamo riferimento solo ai sistemi a ciclo chiuso, in quanto quelli a ciclo aperto li possiamo ormai considerare obsoleti).

Analogamente anche l'efficienza d'uso dell'acqua risulta massimizzata nei sistemi in fuori suolo, dove negli impianti più all'avanguardia si può ottenere un risparmio idrico anche del 98 - 99% rispetto all'agricoltura tradizionale.

Un altro importante vantaggio da non sottovalutare è sicuramente legato alla gestione degli impianti in fuori suolo che risulta essere meno faticosa e più rapida per unità di prodotto, il che si traduce in un costo della manodopera inferiore. Di contro però bisogna annoverare degli investimenti iniziali più elevati e certamente un livello di competenza e conoscenza maggiore.

4 La qualità dell'acqua

Possiamo avere a disposizione diverse tipologie di acqua per la realizzazione del nostro impianto acquaponico. È molto importante avere ben chiaro sin dall'inizio quale tipo di acqua si utilizzerà in modo tale da prevedere quali possono essere le tecniche di gestione più opportune.

L'acqua negli impianti acquaponici è il mezzo che mette in connessione tutti gli organismi in esso presenti per questo è necessario un costante monitoraggio per assicurare una buona qualità dell'acqua. Questo comporta il mantenimento dell'intero ecosistema in situazioni non stressanti e di conseguenza renderlo più produttivo e meno soggetto all'attacco di patogeni. Bisogna garantire valori ottimali per tutti i principali parametri dell'acqua tenendo in considerazione che si cercherà spesso una mediazione tra i valori ideali di ciascun organismo.

Oltre ai parametri qui sotto descritti ne abbiamo altri meno importanti in termini di sopravvivenza dell'ecosistema, ma sicuramente importanti in termini di produttività. Il controllo di questi ultimi diventa fondamentale soprattutto nel caso di grossi impianti con valenza commerciale e per questo non vengono trattati all'interno di questo manuale, ma nei nostri corsi avanzati.

4.1 Il pH

Il pH è un parametro molto importante nel sistema acquaponico perché ha effetti diretti su tutti gli organismi. Rappresenta la concentrazione di protoni H^+ e viene definito su una scala logaritmica che va da 1 a 14. Più il numero è basso e più la concentrazione è alta.

Il pH si considera neutro al valore di 7 mentre si considera acido o basico rispettivamente per valori inferiori o superiori al neutro. In generale in acquaponica si tende ad avere un intervallo di pH compreso tra 6 e 7. Valori inferiori sono al di sotto della tolleranza per i nostri batteri e per la maggior parte dei pesci, mentre la maggior parte delle piante preferiscono condizioni leggermente acide. Se il pH esce da questo intervallo, le piante soffrono di un blocco dei nutrienti, ovvero: i nutrienti sono presenti nell'acqua ma le piante non sono in grado di utilizzarli.

Accade spesso per il ferro, il calcio e il magnesio e alcune volte l'apparente carenza di nutriente nelle piante ci indica che il pH del sistema non è ottimale. La figura 4.1 descrive la relazione tra il livello di pH e la capacità delle piante di utilizzare certi nutrienti.

Importante però sottolineare come mentre i sistemi idroponici sono semi sterili, quello acquaponico è un ecosistema abbastanza complesso pertanto ci sono interazioni biologiche che avvengono tra radici delle piante, batteri e funghi che possono permettere l'assorbimento dei nutrienti anche a livelli di pH superiori a quelli mostrati nella figura 4.1. Tuttavia, la migliore linea di azione è quella di cercare di mantenere il pH leggermente acido (6-7), ma comprendere che un pH più alto (7-8) può funzionare lo stesso.

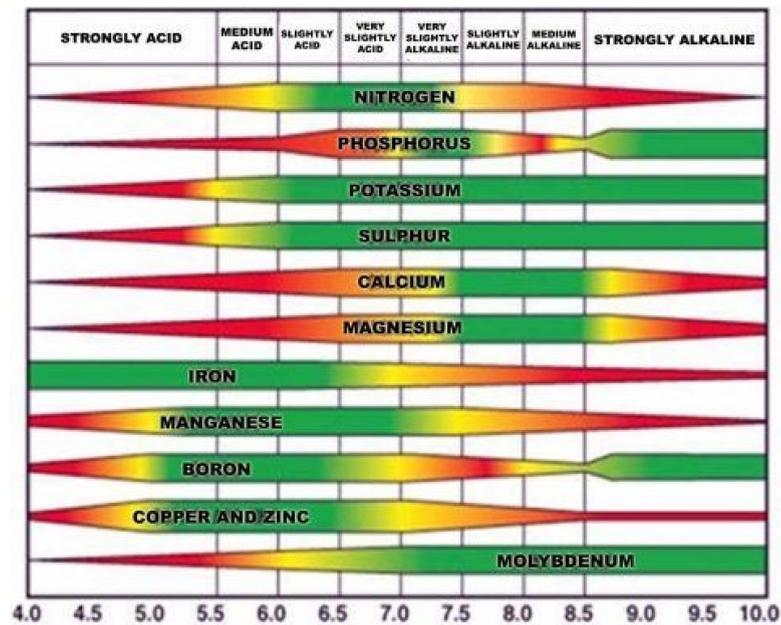


Figura 4.1 Relazione tra il livello di pH e la capacità delle piante di utilizzare certi nutrienti.

4.2 La durezza dell'acqua: parametro KH

Il KH o durezza dell'acqua è un parametro che descrive il contenuto in carbonati (CO_3^{2-}) e bicarbonati (HCO_3^-) dell'acqua. Questi sono molto importanti in quanto costituiscono il sistema tampone della nostra acqua, ovvero impediscono brusche variazioni di pH, molto stressanti per tutti gli organismi.

In genere questo parametro viene espresso come quantità di milligrammi per ogni litro (mg/l) di acqua di carbonato di calcio equivalente. Il valore ottimale dovrebbe essere compreso tra 50 e 100 mg/l. Molto spesso nei tester il risultato non viene espresso in mg/l ma in °KH (1 °KH = 10mg/l).

Approfondimento: pH acido o pH basico?

https://www.youtube.com/watch?v=rH29Y_WqNiA&t=544s

4.3 L'ossigeno disciolto

Tutti gli organismi hanno bisogno di adeguati livelli di ossigeno disciolto in acqua, in quanto questo permette la respirazione e dunque la produzione di energia. I valori ottimali di ossigeno disciolto sono compresi tra 8 e 10 mg/l.

Molte piante e pesci però sono in grado di vivere anche a valori più bassi (> 3 mg/l). La capacità dell'acqua di trattenere ossigeno è inversamente proporzionale alla temperatura dell'acqua stessa. In genere per assicurare dei buoni livelli di ossigeno disciolto si utilizzano delle pompe ad aria collegate a delle pietre porose che insufflano aria direttamente nell'acqua creando una colonna di bollicine più o meno piccole, per consentire un'ossigenazione dell'acqua.

4.4 La temperatura dell'acqua

La temperatura dell'acqua dovrebbe essere compresa tra 18 e 30 °C. Tuttavia, bisogna porre attenzione nella scelta corretta di piante e pesci per rispettare il loro intervallo ottimale. In ogni caso si dovrebbe cercare di non superare la temperatura di 25 °C, in quanto da questo valore in

poi la quantità di ossigeno che l'acqua riesce a trattenere potrebbe facilmente essere inferiore alle necessità dei diversi organismi.

4.5 L'ammoniaca

Molto presente nelle deiezioni dei pesci, permette l'avvio del ciclo dell'azoto. Può facilmente diventare tossica anche a bassissime concentrazioni e per questo motivo deve essere costantemente monitorata. La sua concentrazione deve essere pari a zero o quasi.

4.6 I nitriti e i nitrati

I nitriti derivano dalla trasformazione dell'ammoniaca ad opera dei *Nitrosomonas*. Questa molecola a concentrazioni relativamente basse può risultare tossica e per questo motivo va monitorata per assicurarsi di restare sempre al di sotto delle concentrazioni di pericolo (non superare 0,5 mg /l).

I nitrati derivano dalla trasformazione dei nitriti da parte dei *Nitrobacter*. A differenza dei precedenti hanno una ridotta tossicità e per questo motivo possiamo raggiungere livelli di concentrazione molto più elevati. I nitrati sono la principale fonte di azoto per le piante e vengono assorbiti in grande quantità. Questi vanno monitorati per capire se la fertilità dell'acqua è sufficiente a soddisfare il fabbisogno nutritivo delle piante e se inoltre la concentrazione degli stessi non è eccessiva e quindi potenzialmente pericolosa per i pesci. Come regola generale si consiglia di non superare i 400 mg/l.

Approfondimento: Controllo dei parametri qualitativi dell'acqua e quali tester scegliere
<https://www.youtube.com/watch?v=RGfKwsj4QOs>

5 La progettazione di impianti acquaponici

5.1 I sistemi di filtraggio solido e biologico

I sistemi di filtraggio all'interno dell'impianto acquaponico hanno lo scopo di ridurre ed abbattere i solidi sospesi in acqua per renderli direttamente assimilabili dalle piante e per migliorare la qualità dell'ambiente acquatico e dei pesci. I solidi organici presenti in un sistema acquaponico provengono da alimento per pesci non consumato e/o dagli scarti organici (feci e urine) dei pesci.

Nel sistema a ricircolo, i solidi sono generalmente classificati sia per dimensioni che per la loro capacità di rimozione. Della frazione totale di solidi prodotti in un RAS, i solidi decantabili sono quelli generalmente superiori ad una dimensione di 100 μm e che pertanto possono essere rimossi per gravità. I solidi sospesi, con dimensioni che vanno da 100 μm a 30 μm , sono quelli che non precipitano sul fondo e pertanto devono essere rimossi meccanicamente. I solidi fini, con dimensioni inferiori a 30 μm , sono generalmente quelli che non possono essere rimossi mediante setacciatura e devono essere controllati con altri mezzi quali processi fisico-chimici, processi di filtrazione a membrana o diluizione.

Le tecniche per il controllo dei solidi più utilizzate sono ad esempio l'uso di serbatoi per la decantazione in quanto ottimi per raccogliere la sostanza organica grossolana facendola depositare sul fondo. Quando posti all'inizio della filtrazione meccanica vera e propria permettono di allungare i tempi tra una pulizia e l'altra del resto del sistema (spugne e spazzole) e di raccogliere con facilità scarti organici grossolani pronti per essere mineralizzati.

Altri dispositivi di cattura dei solidi sono filtri a perline e filtri a sabbia, che sono popolari nelle piscine mentre, poco consigliati in acquaponica a causa dell'elevato consumo di acqua che necessitano per la loro pulizia.

Approfondimento: Come costruire un filtro separatore esterno

<https://www.youtube.com/watch?v=Hy6eNPSR5dM&t=72s>

Infine, i solidi fini in un impianto a ricircolo sono comunemente trattati con ozonizzazione, lampade UVC, skimmer proteici o una combinazione di queste tecniche. I solidi fini, ovvero le particelle più piccole di 30 μm , sono la frazione dominante nell'acqua di coltura, rappresentando più del 94% dei solidi totali. L'accumulo dei solidi si verifica principalmente in quanto riescono a bypassare i filtri meccanici (spugne e spazzole) in quanto non efficienti al 100%. Una volta ridotte le dimensioni dei solidi, le tradizionali tecniche di filtrazione meccanica diventano inefficaci. Negli ultimi anni si sta ponendo particolare attenzione agli effetti dei solidi fini sulla produzione, sul controllo e il benessere dei pesci e del sistema. Gli effetti dei solidi fini sul benessere dei pesci sono noti e sono legati alla proliferazione di microrganismi opportunistici poiché i solidi fini forniscono un substrato ottimale per la colonizzazione dei batteri. Un altro importante effetto negativo riguarda l'aumento della torbidità che rende l'ispezione visiva dei pesci difficile e può ostacolare strategie di controllo del fotoperiodo in quanto richiedono la penetrazione della luce nella colonna d'acqua.

Strategie di controllo dei solidi fini utilizzati nei sistemi a ricircolo moderni includono ozonizzazione e schiumatura proteica. I schiumatoi proteici, conosciuti meglio col nome di skimmer proteici sono anche relativamente popolari per il controllo di solidi fini soprattutto nei sistemi marini.

Una volta eliminati la maggior parte dei solidi grossolani, l'acqua deve essere sottoposta ad

un filtraggio biologico. Esistono diversi sistemi, che si basano sostanzialmente sul creare un ambiente ottimale alla proliferazione dei batteri nitrificanti. Le condizioni ottimali per i batteri sono: assenza di luce diretta, adeguato ossigeno disciolto, temperatura ottimale e ambiente umido/bagnato

Una delle tecnologie più utilizzate è quella del “moving bed”, ma se opportunamente dimensionato anche un letto di coltivazione (grow bed) può assolvere a questo scopo in quanto i batteri nitrificanti troveranno un ambiente ottimale per la proliferazione direttamente sulla superficie bagnata dell’argilla espansa.

Approfondimento: Assemblaggio filtro separatore esterno e funzione del fitoplancton nel filtraggio
<https://www.youtube.com/watch?v=oZ-1UucqABY>

5.2 Le tipologie di sistemi di coltivazione

Di seguito verranno descritte le diverse tipologie di sistemi di coltivazione delle colture in un sistema acquaponico.

5.2.1 Grow bed

Il sistema di coltivazione Grow bed (letto di crescita) prevede un contenitore pieno di argilla espansa, alto generalmente tra i 30 e i 40 cm ed in grado di riempirsi e svuotarsi ad intervalli regolari in maniera automatica grazie ad un sifone a campana.

Questo contenitore può essere realizzato in plastica, metallo, fibra di vetro oppure anche in legno successivamente rivestito con un telo in PVC o EPDM così da impermeabilizzare. L’altezza di 30-40 cm garantisce un notevole spazio per lo sviluppo radicale degli ortaggi e per questo motivo è ideale anche per la coltivazione di ortaggi a frutto grande e piccolo.

Per quanto riguarda la sua capacità di filtrazione, il Grow bed rappresenta già di per sé un filtro biologico e meccanico se accuratamente dimensionato. È possibile quindi non dover integrare un ulteriore filtro meccanico e biologico, se non si supera la densità di circa 10-15 kg/m³ o se la ratio di alimentazione non oltrepassa i 50 g/giorno per ogni m² di letto di crescita.

Quando i Grow bed non sono dimensionati correttamente, rispetto alla densità dei pesci, è possibile che si intasino, causando scarsa circolazione d’acqua, zone anaerobiche, condizioni di pericolo. Se si verifica un intasamento per sovraccarico di materia organica, i Grow bed possono effettivamente produrre ammoniaca anziché rimuoverla.

La caratteristica di un Grow bed con substrato inerte e a flusso e deflusso è quella di avere tre zone distinte (fig. 5.1) che possono essere considerate “microsistemi” i quali si differenziano per la quantità di acqua e ossigeno disponibili. Ogni zona ospita un gruppo eterogeneo di batteri, funghi, microrganismi, vermi, insetti e crostacei. Uno dei gruppi più importanti è costituito dai batteri nitrificanti utilizzati per la biofiltrazione, ma ci sono molte altre specie che hanno un ruolo nella decomposizione dei rifiuti prodotti dal pesce, come ad esempio i lombrichi.

Le tre zone del grow bed (fig. 51.) sono:

- **ZONA ASCIUTTA** (zona 1) è rappresentata dai primi 2,5 - 5 cm. Questo strato è molto importante in quanto:
 - funge da barriera dalla luce impedendole di colpire direttamente l’acqua e di generare una abnorme crescita di alghe
 - impedisce la crescita di funghi e batteri dannosi alla base del fusto delle piante e che

- possono causare marciume del colletto e altre malattie
 - minimizza l'evaporazione dell'acqua dai letti
 - protegge i batteri dalla luce diretta del sole la quale può causare una loro morte.
- **ZONA UMIDA** (zona 2): di 10-20cm è attraversata dall'acqua e:
- è l'area in cui i batteri nitrificanti agiscono prevalentemente
 - presenta il maggiore sviluppo di radici, delle colonie di batteri e di microrganismi benefici

In questa zona, il continuo alternarsi di presenza e assenza di acqua garantisce un'elevata aerazione dello strato umido favorendo lo sviluppo dell'ecosistema. Si consiglia di aggiungere anche dei lombrichi che favoriranno la decomposizione degli scarti organici, l'aerazione del letto di crescita e si stabiliranno prevalentemente in questa zona umida.

- **ZONA BAGNATA** (zona 3): 3-5 cm dal fondo del letto, rimane permanentemente bagnata. Qui si accumula una certa quantità di rifiuti solidi (fanghi attivi) e sarà dove i microrganismi dediti alla mineralizzazione si stabiliranno. Questi si occupano di demolire i rifiuti in frazioni più piccole prima e molecole poi che potranno essere assorbite dalle piante.

Per soddisfare le esigenze degli ortaggi coltivati nei letti di crescita sono necessari dai 40 agli 80 grammi di mangime per metro quadrato al giorno da somministrare ai pesci.

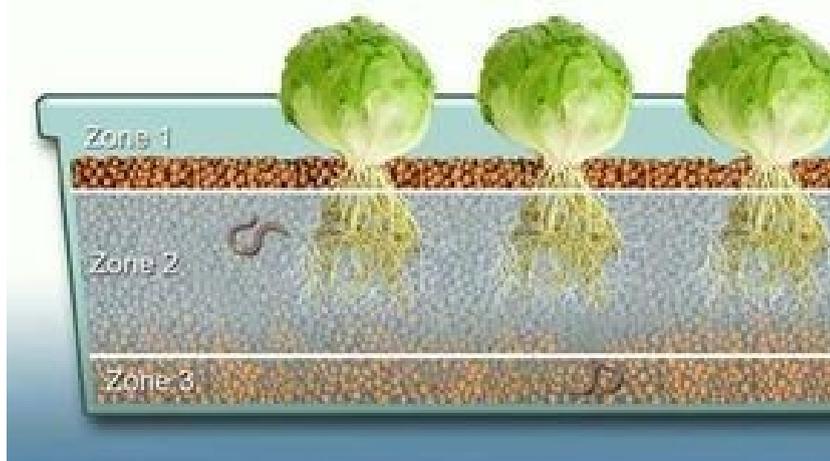


Figura 5.1 Sistema di coltivazione Grow bed (letto di crescita; fonte: Aquaponic Design).

5.2.2 DWC

La tecnica DWC consiste nella coltivazione di piante mediante l'utilizzo di supporti galleggianti (zattere, pannelli, tavole) in contenitori riempiti con 20-30 cm di soluzione nutritiva (fig. 5.2).

Ci sono diverse forme di applicazione che variano in base all'altezza della colonna d'acqua, al volume della soluzione e dai metodi di ricircolo ed ossigenazione. Uno dei sistemi più semplici comprende contenitori di 20-30 cm di altezza, realizzabili con diversi materiali più o meno economici e rivestiti con telo in PVC o EPDM.

All'interno di questi "cassoni" vengono posizionate le zattere galleggianti che sostengono sopra il livello dell'acqua le piante orticole. Le radici di queste ultime invece rimangono immerse

in modo da poter assorbire i nutrienti di cui hanno bisogno. I livelli di ossigeno devono essere superiori a 5 mg/l altrimenti si può andare incontro a problematiche dell'apparato radicale. Per garantire questi valori andranno previsti dei sistemi di ossigenazione mediante l'utilizzo di aeratori collegati a delle pietre porose immerse in acqua.

Questo sistema di coltivazione viene molto utilizzato quando non si hanno problemi di spazio a disposizione e si preferisce risparmiare su costi di materiali e ore di gestione/lavoro. È un sistema che si presta benissimo alla coltivazione di tutte le piante a foglia edibile con un ciclo di raccolto che va da 30 a 90 giorni. Inoltre permette la raccolta ed il trapianto scalare senza dover mai interrompere la produzione.

Secondo autorevoli ricercatori, per ogni m² di coltivazione in DWC sono necessari, soprattutto nelle fasi iniziali, fino a 100 g di mangime consumato da pesci rossi e carpe (Rakocy et al., 2003). Questo apporto nutrizionale più alto rispetto agli altri metodi di coltivazione è dovuto all'elevata diluizione del sistema, infatti per coltivare gli stessi metri quadrati, con la tecnica DWC si utilizzano molti più litri di acqua, con la conseguenza che i nutrienti delle piante sono meno concentrati.

La portata dell'acqua in ingresso in ogni DWC è relativamente bassa. In generale, ogni vasca ha un ricambio totale di acqua ogni 1-4 ore. Per esempio, se il volume dell'acqua della vasca è 600 l e la portata dell'acqua in ingresso è 300 l/h, il tempo di ritenzione è di 2 ore.



Figura 5.2 Sistema di coltivazione DWC (fonte: Aquaponic Design).

5.2.3 NFT

Il sistema NFT è costituito da canaline poste orizzontalmente, di sezione circolare o rettangolare (fig. 5.3), dotate di fori per ospitare le piante coltivate e dove all'interno scorre un sottile film di soluzione nutritiva. Generalmente in ambito hobbistico le canaline si possono realizzare con tubi in PVC adatti al contatto alimentare e di sezione circolare con un diametro pari a 90mm. Questi tubi si trovano comunemente nei negozi di fai da te e sono di colore grigio. Si consiglia sempre di dipingerli di bianco così che il sole non surriscaldi troppo l'ambiente al

loro interno.

Le canaline possono essere disposte anche su più livelli (fig. 5.3), ovvero svilupparsi in verticale mediante apposite strutture di sostegno ottimizzando così lo spazio di coltivazione. Lungo la canalina vanno predisposti i fori che ospiteranno le piante precedentemente inserite in appositi cestelli da idroponica. Questi slot sono creati tramite la foratura del tubo con seghe a tazza di diametro 50 mm e sono distanziati tra loro di 25 cm. In questo modo l'apparato radicale si sviluppa in un ambiente molto umido e con una parte della radice esposta all'aria (interno al tubo) e una parte invece che si sviluppa sul fondo ed assorbe tutti i nutrienti necessari grazie al film di soluzione nutritiva che scorre all'interno della canalina. Per questo motivo le canaline professionali sono di sezione rettangolare in quanto riescono a fornire una maggiore superficie di contatto radice - soluzione nutritiva e di conseguenza lo stesso scorrimento dell'acqua non viene ostacolato eccessivamente dallo sviluppo radicale permettendo così una migliore e più efficiente distribuzione dei nutrienti lungo tutta la canalina.



Figura 5.3 Sistema di coltivazione NFT (fonte: Aquaponic Design).

Generalmente le piante a frutto grande non vengono coltivate in questi sistemi proprio perché potrebbero otturare la canalina e, così come per il DWC, le piante a foglia edibile sono la scelta migliore di coltivazione per questo sistema.

Una filtrazione dedicata è di fondamentale importanza in questa tipologia di sistema, come per il DWC. Mentre il Grow bed funge da biofiltro e da filtro meccanico, la tecnica NFT non ha questo vantaggio. Pertanto, entrambi i tipi di filtri devono essere costruiti appositamente. In primo luogo, una componente meccanica costituita per lo più da spugne per catturare i rifiuti solidi e quindi un filtro biologico per la nitrificazione. Il biofiltro deve essere ben ossigenato con pietre che diffondono aria e contenere un supporto adatto alla proliferazione batterica (solitamente Bioballs o altri supporti di materiale plastico). Con una filtrazione insufficiente le tubature si interesserebbero causando asfissia causando danni a piante e pesci. Il flusso d'acqua

per ciascun tubo di coltivazione non deve superare 1-2 l/min e facilmente regolabile tramite rubinetti.

La lunghezza del tubo di coltivazione può essere compresa tra 1 e 12 m. Nei tubi di lunghezza superiore a 12 m possono verificarsi carenze nutrizionali sulle piante più distanti dall'ingresso dell'acqua in quanto le precedenti hanno già assorbito le sostanze nutritive. Una pendenza di circa 1-3% del tubo è necessaria per essere sicuri che l'acqua scorra attraverso con facilità e per questo potete controllarla utilizzando dei semplici cunei.

Per questa tecnica possiamo considerare una quantità di mangime che va dai 40 agli 80 g ogni 20-30 piante coltivate. Naturalmente bisogna assicurare una biomassa di pesce che riesca a consumare giornalmente questa quantità.

5.2.4 Vertical tower

In questo sistema di coltivazione le piante sono disposte all'interno di strutture poste verticalmente (fig. 5.4). La coltivazione verticale migliora l'efficienza d'uso del suolo aumentando notevolmente il numero di piante coltivabili per unità di superficie. Di solito vengono realizzate utilizzando braghe in pvc di vario diametro e dotate di innesto a 45°.

All'interno delle torri può essere inserito o meno del substrato inerte (argilla espansa ad esempio). L'acqua viene introdotta dall'alto, umidificando l'interno e permettendo alle radici delle piante di trovarsi in un ambiente ottimale per la crescita. Una volta attraversata tutta la torre, l'acqua viene incanalata e fatta tornare alle vasche. Come per NFT e DWC, anche per le torri verticali è molto importante garantire un'ottima filtrazione meccanica e biologica, in particolare per prevenire l'impaccamento (intasamento) delle torri e la successiva fuoriuscita dell'acqua. Per quanto riguarda il flusso di acqua ed il numero di piante per torre, i valori consigliati sono un massimo di 12 piante ed un flusso di 1-2 l/min.

La quantità di mangime consigliata è compresa tra i 40 e gli 80 g ogni 20-30 piante coltivate e come sempre bisogna assicurare una biomassa di pesce che riesca a consumare giornalmente questa quantità.



Figura 5.4 Sistema di coltivazione Vertical Tower (fonte: Aquaponic Design).

Approfondimento: I sistemi di coltivazione nell'impianti acquaponici
https://www.youtube.com/watch?v=nU_isOV-RcE&t=48s

5.3 L'avvio di un nuovo impianto acquaponico

L'avvio dell'impianto rappresenta il primo step necessario per la riuscita della coltivazione acquaponica, infatti solo grazie ad esso sarà possibile garantire il corretto sviluppo dei batteri nitrificanti, importantissimi per garantire la crescita di un ecosistema in equilibrio. Gli step da seguire per avviare l'impianto acquaponico sono i seguenti:

1. una volta completata la costruzione dell'impianto bisogna riempire con acqua ed avviare il sistema in modo che inizi a girare in tutti i componenti
2. aspettare una settimana, dopo di che aggiungere piccole quantità di mangime in vasca dei pesci. La dose consigliata è pari a un cucchiaino di mangime in scaglie ogni 1000 l di acqua dell'impianto. Quello a scaglie è perfetto in quanto si degrada facilmente, a differenza del pellet che invece essendo molto più denso può persistere per più tempo, con conseguente possibile formazione di saprolegnia su di esso. Per facilitare il consumo del mangime e la produzione di ammoniaca in maniera contenuta si possono delle lumache d'acqua (*Physa marmorata* e *Planorbarius corneus*)
3. passata un'altra settimana possiamo introdurre ulteriori gasteropodi, zooplancton e mangime
4. passato un mese dall'avvio dell'impianto possiamo procedere con la misurazione dei valori di ammoniaca, nitriti e nitrati per verificare la completa maturazione del filtro biologico. Se l'ammoniaca risulta superiore a 0 mg/l e i nitriti superiore a 0,1 si consiglia di aspettare che scendano prima di introdurre i pesci.

Inizialmente la quantità di pesce da inserire è pari al 10% della biomassa finale alla quale si vuole arrivare. Naturalmente questo 10% va introdotto in maniera graduale. Dopo di che, questa biomassa iniziale, alimentandosi, si accresce fino a raggiungere i livelli ottimali per la produzione a regime. Se si ha particolare fretta si possono dimezzare i tempi di maturazione attraverso l'uso di inoculi liquidi di batteri che si trovano comodamente in commercio.

Altri "trucchi" da utilizzare per velocizzare la maturazione sono:

- prelevare acqua da un impianto/acquario maturo
- prelevare del materiale filtrante già avviato e integrarlo nel proprio biofiltro
- mantenere un alto grado di aereazione
- T° dell'acqua sui 18- 20 °C.

Approfondimento: Aggiungere batteri in acquaponica
<https://www.youtube.com/watch?v=t0YHOUTRHNS>

6 Approfondimenti

Di seguito una serie di approfondimenti per costruire e gestire nel miglior modo possibile un impianto acquaponico.

Approfondimento: Acquaponica: cos'è e come funziona

<https://www.youtube.com/watch?v=3r-WCDG4Ejg&t=2s>

Approfondimento: Come dimensionare un impianto acquaponico

<https://www.youtube.com/watch?v=qUIyVgOhgWM&t=27s>

Approfondimento: Acquaponica: come alimentare i pesci

<https://www.youtube.com/watch?v=BQIlr-ci2iU>

Approfondimento: Acquaponica: carenze nutrizionali

<https://www.youtube.com/watch?v=whi91izRJac&t=9s>

Approfondimento: Costruire una lombricompostiera domestica

https://www.youtube.com/watch?v=o_GIKLU_9Tk&t=80s

Approfondimento: Come produrre compost tea da una lombricompostiera domestica

<https://www.youtube.com/watch?v=7pY7acXV6Ts&t=4s>

Approfondimento: Mineralizzatore sostanza organica per acquaponica

<https://www.youtube.com/watch?v=zYGPrwHm664>

Approfondimento: Come costruire un impianto fotovoltaico per un impianto acquaponico

<https://www.youtube.com/watch?v=I6o9ss1oJFc>

Approfondimento: Come gestione un impianto acquaponico d'inverno

<https://www.youtube.com/watch?v=m5K1-hLzvho&t=388s>

Approfondimento: Come produrre lo zooplancton

<https://www.youtube.com/watch?v=HpPIqlljdg&t=82s>

Approfondimento: Come produrre lo zooplancton

<https://www.youtube.com/watch?v=HpPIqlljdg&t=82s>

7 Bibliografia

- Banca mondiale, 2019. Cambiamenti nel modo del lavoro. Rapporto sullo sviluppo mondiale.
- Engelhaupt E., 2018. Do food miles matter? Environmental Scienze and Technology.
- FAO. 2002. World Agriculture: Towards 2015-2030. Summary report.
- FAO, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016.
- FAO, 2017. 2050: Indispensabile investire nella ricerca agricola.
- Garnett T., 2011. Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? Food Policy 36 (Supplement 1).
- ISPRA, 2018. Spreco alimentare: un approccio sistemico per la prevenzione e la riduzione strutturale. Rapporto ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- Joyce A., Goddek S. Kotzen B., Wuertz S., 2019. Aquaponics: Closing the Cycle on Limited Water, Land and Nutrient Resources. Springer.
- Rakocy J., Shultz R.C., Bailey D.S., Thomas E.S., 2003. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. South Pacific Soilless Culture Confere – SPSCC.
- van Woensel L., Archier G., Panades-Estruch L., Vrscaj D., 2015. Ten technologies which could change our lives: potential impacts and policy implications. Scientific Foresight Unit.

8 Sitografia

- Akuadulza – Il portale italiano dell’acquaponica: <https://akuadulza.it/>
- Aquaponic Design: <https://www.aquaponicdesign.it/>
- Global Aquaculture Alliance: <https://www.aquaculturealliance.org/>
- FAO – Small-scale aquaponic food production – Integrated fish and plant farming: <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf>