

---

## SOMMARIO

Secondo le previsioni dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO), la domanda alimentare è in continua crescita. Al tempo stesso si stima che entro il 2050 si avrà un aumento della risorsa idrica pari al 90% in più rispetto a quella attuale.

Per fronteggiare queste problematiche, si sta cercando sempre più di implementare soluzioni ispirate alla natura, tra queste l'agricoltura urbana. L'agricoltura urbana è una recente pratica che considera di produrre cibo in modo sostenibile, minimizzando gli spazi e riducendo il consumo idrico. Inoltre, rispetto alle pratiche agricole tradizionali, non richiede utilizzo di fertilizzanti che sono fra i principali inquinanti che si trovano non solo nel suolo, ma anche nei corpi idrici superficiali.

Va anche considerato l'inquinamento annesso alle pratiche per la gestione e manutenzione di tali sistemi. Con la pratica di agricoltura urbana non solo si riesce a fronteggiare tali criticità, ma soprattutto sarà possibile produrre risorse a km 0. Tali soluzioni risulteranno pertanto sostenibili sotto qualsiasi punto di vista: economico, in quanto forniranno cibo dal valore aggiunto; sociale, in quanto creeranno nuovi posti di lavoro e nuove conoscenze all'interno della società; ambientale, in quanto si produrrà cibo in maniera sicura e sostenibile.

Una delle principali applicazioni dell'agricoltura urbana è l'acquaponica. L'acquaponica è la combinazione sinergica di dell'acquacoltura, ovvero dell'allevamento di specie ittica e dell'idroponica, ovvero della coltivazione di specie vegetale in assenza di acqua.

L'acquacoltura nasce in quanto la richiesta di alimenti non potrà più essere soddisfatta solo dalla attività di pesca, per questo motivo l'acquacoltura, sta assumendo un ruolo sempre più importante aumentando l'offerta globale di alimenti e mostrando un enorme potenziale per affrontare la malnutrizione e le malattie legate all'alimentazione.

Dall'altro lato invece l'idroponica rappresenta una valida alternativa alle tecniche di coltivazione convenzionali basate sul suolo. Infatti, svolgendo confronti in termini di efficacia, qualità, consumo di acqua e velocità di

---

produzione, si è visto che il sistema idroponico sia in grado di produrre una resa significativamente migliore rispetto alle tecniche convenzionali.

Ma il beneficio maggiore si ottiene quando questi due sistemi lavorano in maniera sinergica, creando per l'appunto i sistemi acquaponici che saranno in grado di fornire un'opportunità per rafforzare la sicurezza alimentare, incrementare l'offerta di specie ittiche e vegetali, e riutilizzare risorse fondamentali. Con i sistemi acquaponici è possibile ottenere la produzione contemporanea sia di specie acquatiche, sia di specie vegetali utilizzando quantità ridotte di acqua, di fertilizzanti e di area di coltura.

I sistemi acquaponici si basano su processi biologici, dove deve esserci un perfetto equilibrio fra i vari attori in gioco. L'unità di acquacoltura, tramite l'attività metabolica dei pesci produce sostanze di scarto e composti azotati che, grazie alla presenza di una filtrazione meccanica e di una biologica, vengono ridotti. I batteri presenti all'interno del biofiltro favoriscono la trasformazione dell'azoto ammoniacale in ione ammonio, che può essere convertito successivamente in nitriti e nitrati tramite i processi di nitrificazione. Le piante assorbono l'ultima forma dell'azoto, i nitrati. Questa è una fonte di nutrimento necessaria, che offre la possibilità di non introdurre fertilizzanti nel sistema, riducendo i costi e garantendo un'economia circolare. Oltre ai composti azotati, le piante assorbono anche altri nutrienti come fosforo e potassio realizzando una fitodepurazione dell'acqua. Una volta depurata, l'acqua potrà essere reimpressa nell'acquario dei pesci per consentirne lo svolgimento delle attività vitali.

Nell'impianto acquaponico si crea così un vero e proprio ecosistema in grado di autosostenersi e di produrre simultaneamente più prodotti: possono essere coltivate sia verdure a foglia verde, sia erbe aromatiche sia frutti, ed allevare diverse specie ittiche, sia commestibili che ornamentali in funzione della necessità. Il vantaggio principale dal punto di vista ambientale è costituito dalla riduzione della risorsa acqua utilizzata, oltre che dalla riduzione delle acque reflue, che non potrebbero essere immesse nell'ambiente in assenza di un appropriato trattamento.

Ma i sistemi acquaponici convenzionali presentano grosse limitazioni, legate soprattutto ai lunghi tempi di manutenzione, alla difficoltà nella gestione delle unità di acquacoltura e idroponica, all'emissione in atmosfera della CO<sub>2</sub> da parte dell'unità di acquacoltura, etc... Inoltre non di poco conto, va considerato che spesso vengono utilizzati

---

antibiotici o simili nelle unità di acquacoltura, che se non opportunamente trattati, entrano nel ricircolo idrico, oltre alla presenza di patogeni: questi vengono anche assorbiti dalla radici della specie vegetale. Va ricordato che tali prodotti sono destinati al consumo umano, pertanto bisogna assicurarsi che vi sia sempre un'efficienza del processo. Va tenuto conto che tale importanza è legata soprattutto ai processi biologici che avvengono nei sistemi acquaponici e al ruolo che i batteri svolgono. Molto spesso tale equilibrio non viene garantito con il rischio di bilanciare i nutrienti. Infatti, la presenza di un quantitativo elevato di nutrienti in un reflu immesso in un corso d'acqua, provocherebbe l'eutrofizzazione dell'ambiente acquatico. Va sottolineato inoltre che i sistemi acquaponici hanno continue perdite idriche dovute alle perdite per evaporazione degli acquari e di evotraspirazione dell'idroponica, con la necessità di ripristinare pertanto i livelli delle diverse unità.

Ed è per tale motivo che nasce questo lavoro di tesi, con lo scopo di creare una nuova generazione di sistemi acquaponici avanzati per il recupero dei nutrienti e lo sviluppo sostenibile, nell'ottica dell'economia circolare. L'attività sperimentale è stata svolta presso il Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SEED) dell'Università degli Studi di Salerno in 10 cicli sperimentali.

In ognuno dei diversi cicli, l'attività di studio è stata incentrata sul confronto fra due sistemi acquaponici differenti: un sistema acquaponico convenzionale ed uno innovativo. Sono stati analizzati i principali parametri di qualità dell'acqua per valutare l'efficacia dei trattamenti implementati ed il ciclo dei nutrienti. Sono stati misurati sia parametri fisico/chimici (temperatura, conducibilità, ORP, pH, ossigeno disciolto, salinità, azoto ammoniacale e torbidità), sia anioni e carbonio (organico, inorganico, totale). Inoltre, sono stati effettuati test microbiologici al fine di valutare la presenza di colonie batteriche patogene che potessero compromettere la crescita dei vegetali, e monitorare il loro abbattimento tramite i trattamenti di disinfezione.

Nei primi 4 cicli sperimentali è stato in particolar modo verificata l'efficacia di combinare sistemi di disinfezione, quali UV ed ozono, con una innovativa tipologia di membrana, denominata membrana dinamica autoformante, in grado di trattare le acque reflue di acquacoltura. Tali processi, hanno mostrato risultati soddisfacenti sia per una migliore qualità

---

dell'acqua di acquacoltura che per una crescita migliore e della specie ittica e della specie vegetale.

Nei cicli successivi invece, si è voluto implementare un nuovo sistema acquaponico innovativo in cui ad esso, oltre i medesimi trattamenti sopra menzionati, è stato implementato all'interno del ricircolo idrico un fotobioreattore microalgale. Scopo di tale implementazione era quello di valutare come le microalghe possano migliorare il processo di trattamento dei reflui di acquacoltura assicurando al tempo stesso i nutrienti alla specie vegetale. Inoltre, tale microalgale una volta essiccate, sono stati utilizzate come mangime per i pesci. Ulteriore beneficio dato delle microalghe è stato relativo ad un miglior trattamento dei reflui di acquacoltura.

Negli ultimi due cicli sperimentali, ha avuto come scopo quello di rendere il sistema autosufficiente dal punto di vista idrico e del ciclo dei nutrienti. E' stato aggiunta una ulteriore unità con lo scopo di trattare reflui caseari, che sono ricchi di nutrienti. Durante questa fase però sono stati rimossi i trattamenti di disinfezione, mentre la membrana dinamica autoformante ha assunto un ruolo chiave: trattare le acque reflue preservando i nutrienti contenuti in esso. Al tempo stesso, il trattamento biologico con le microalghe si è dimostrato essenziale, riuscendo fin da subito ad assicurare un giusto apporto nutritivo alla specie vegetale, e lavorando in maniera efficace e continua.

Nei capitoli successivi dopo aver descritto le principali tecniche di agricoltura urbana, nonché di acquacoltura, idroponica, acquaponica, e coltivazione di alghe, sono stati illustrati in maniera dettagliata i diversi set-up sperimentali, nonché le analisi e le strumentazioni implementate. Infine sono stati presentati i principali risultati, nonché gli sviluppi futuri con le considerazioni conclusive.

---

## ABSTRACT

According to forecasts by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the demand for food is constantly growing. At the same time it is estimated that by 2050 there will be an increase in water demand equal to 90% more than the current one.

To address these issues, there is an increasing effort to implement nature-inspired solutions, including urban agriculture.

Urban agriculture is a recent practice that considers producing food in a sustainable way, minimizing spaces and reducing water consumption. Furthermore, compared to traditional agricultural practices, it does not require the use of fertilizers which are among the main pollutants found not only in the soil, but also in surface water bodies.

The pollution associated with the practices for the management and maintenance of these systems must also be considered. With the practice of urban agriculture it is not only possible to face these critical issues, but above all it will be possible to produce resources at km 0. These solutions will therefore be sustainable from any point of view: economic, as they will provide food with added value; social, as they will create new jobs and new knowledge within society; environmental, as food will be produced in a safe and sustainable way.

One of the main applications of urban agriculture is aquaponics. Aquaponics is the synergistic combination of aquaculture, i.e. the breeding of fish species, and hydroponics, i.e. the cultivation of plant species in the absence of water.

Aquaculture was born as the demand for food can no longer be satisfied only by fishing activity, for this reason aquaculture is assuming an increasingly important role by increasing the global supply of food and showing enormous potential to address the malnutrition and diet-related diseases.

On the other hand, hydroponics represents a valid alternative to conventional soil-based cultivation techniques. In fact, by carrying out comparisons in terms of effectiveness, quality, water consumption and

---

production speed, it has been seen that the hydroponic system is able to produce a significantly better yield than conventional techniques.

But the greatest benefit is obtained when these two systems work in synergy, precisely creating aquaponic systems that will be able to provide an opportunity to strengthen food security, increase the supply of fish and plant species, and reuse basic resources. With aquaponic systems it is possible to obtain the simultaneous production of both aquatic species and vegetable species using reduced quantities of water, fertilizers and cultivation area.

Aquaponic systems are based on biological processes, where there must be a perfect balance between the various players involved. The aquaculture unit, through the metabolic activity of the fish, produces waste substances and nitrogenous compounds which, thanks to the presence of a mechanical and biological filtration, are reduced. The bacteria present inside the biofilter favor the transformation of ammoniacal nitrogen into nitrites and nitrates through nitrification processes. Plants absorb the last form of nitrogen, nitrates. This is a necessary source of nutrition, which offers the possibility of not introducing fertilizers into the system, reducing costs and ensuring a circular economy. In addition to nitrogenous compounds, plants also absorb other nutrients such as phosphorus and potassium, creating a phytoremediation of the water. Once purified, the water can be returned to the fish aquarium to allow them to carry out their vital activities.

In this way a real ecosystem is created in the aquaponic system capable of self-sustaining and of simultaneously producing several products: both green leafy vegetables, aromatic herbs and fruits can be grown, and various fish species can be raised, both edible and ornamental of necessity. The main advantage from an environmental point of view is the reduction of the water resource used, as well as the reduction of wastewater, which could not be released into the environment without appropriate treatment.

But conventional aquaponic systems have major limitations, linked above all too long maintenance times, the difficulty in managing the aquaculture and hydroponic units, the emission of CO<sub>2</sub> into the atmosphere by the aquaculture unit, etc...

Also not insignificant, it should be considered that they are often used antibiotics or similar in aquaculture units, which, if not properly treated, enter the water recirculation, in addition to the presence of pathogens:

---

these are also absorbed by the roots of the plant species. It must be remembered that these products are intended for human consumption, therefore it must be ensured that there is always an efficiency of the process. It should be borne in mind that this importance is linked above all to the biological processes that take place in aquaponic systems and to the role that bacteria play. Very often this balance is not guaranteed with the risk of balancing the nutrients. In fact, the presence of a high quantity of nutrients in a wastewater introduced into a watercourse would cause the eutrophication of the aquatic environment. It should also be emphasized that aquaponic systems have continuous water losses due to evaporation loss of the aquariums and evapotranspiration of hydroponics, with the need to therefore restore the levels of the various units.

And it is for this reason that this thesis work was born, with the aim of creating a new generation of advanced aquaponic systems for the recovery of nutrients and sustainable development, in the perspective of the circular economy. The experimental activity was carried out at the Sanitary Environmental Engineering Division (SEED) at the University of Salerno in 10 experimental cycles.

In each of the different cycles, the study activity was focused on the comparison between two different aquaponic systems: a conventional aquaponic system and an innovative one. The main water quality parameters were analyzed to evaluate the effectiveness of the implemented treatments and the nutrient cycling. Both physical/chemical parameters (temperature, conductivity, ORP, pH, dissolved oxygen, salinity, ammonia nitrogen and turbidity), as well as anions and carbon (organic, inorganic, total) were measured. Furthermore, microbiological tests were carried out to evaluate the presence of pathogenic bacterial colonies that could compromise the growth of plants, and to monitor their elimination through disinfection treatments.

In the first 4 experimental cycles, the effectiveness of combining disinfection systems, such as UV and ozone, with an innovative type of membrane, called dynamic self-forming membrane, capable of treating aquaculture wastewater, was specifically verified. These processes have shown satisfactory results both for a better quality of the aquaculture water and for a better growth of the fish species and of the vegetable species.

In the subsequent cycles, however, we wanted to implement a new innovative aquaponic system in which, in addition to the same treatments

---

mentioned above, a microalgal photobioreactor was implemented within the water recirculation. The purpose of this implementation was to evaluate how microalgae can improve the treatment process of aquaculture wastewater while ensuring nutrients to the plant species. Furthermore, these microalgae, once dried, have been used as fish feed. Further benefit given by microalgae was related to a better treatment of aquaculture wastewater.

In the last two experimental cycles, the aim was to make the system self-sufficient in terms of water and nutrient cycling. An additional unit has been added with the aim of treating dairy waste, which is rich in nutrients. During this phase, however, the disinfection treatments were removed, while the dynamic self-forming membrane assumed a key role: treating the wastewater while preserving the nutrients contained in it. At the same time, the biological treatment with microalgae has proved to be essential, managing to immediately ensure a correct nutrient supply to the plant species, and working effectively and continuously.

In the following chapters, after having described the main urban agriculture techniques, as well as aquaculture, hydroponics, aquaponics, and algae cultivation, the different experimental set-ups, as well as the analyzes and instruments implemented, were illustrated in detail. Finally, the main results were presented, as well as future developments with concluding considerations.