

Trattamenti avanzati per il recupero dei nutrienti nei sistemi acquaponici: verso l'economia circolare dell'urban farming

Rosanna Feola¹

¹Affiliation not available

Abstract

Per far fronte all'aumento della popolazione mondiale, della domanda di cibo e del consumo di risorse, è necessario individuare nuove soluzioni per realizzare uno sviluppo sostenibile. L'acquaponica è un'ottima opportunità: elevati risparmi idrici, spazi ridotti e produzione in loco. L'impianto acquaponico ricrea un ecosistema in cui pesci, batteri e piante lavorano sinergicamente. Il presente lavoro sarà incentrato sull'analisi e sviluppo di trattamenti avanzati per il recupero dei nutrienti da sistemi acquaponici. Il recupero di nutrienti è fondamentale nell'ottica dell'economia circolare perchè ne permette il riutilizzo come fertilizzanti in agricoltura e migliora la qualità delle acque. L'attività sperimentale si è incentrata sullo studio di due sistemi acquaponici: uno convenzionale ed uno con trattamenti avanzati (MRB, disinfezione con ozono e UV). Sono stati analizzati i principali parametri chimico-fisici di qualità delle acque per valutare l'efficacia dei trattamenti implementati e la loro influenza sull'assorbimento dei nutrienti.

Acquaponica ed economia circolare

Negli ultimi anni sta crescendo l'attenzione per l'ambiente e la volontà di preservare le risorse per le generazioni future ¹, ², ³, ⁴. La crescente richiesta di cibo, conseguente all'aumento della popolazione globale, porta inevitabilmente all'intensificazione delle attività agricole e di alleva-

mento ⁵. Pratiche non sostenibili conducono, però, alla compromissione della salute dell'ambiente e degli ecosistemi ⁶. L'agricoltura tradizionale prevede l'utilizzo di ampi terreni, di elevate quantità di acqua e di fertilizzanti e pesticidi per garantire l'integrità del raccolto⁷. Anche gli allevamenti intensivi di pesce hanno impatti ambientali negativi poiché necessitano di antibiotici ^{8, 9, 10, 11, 12, 13} di grossi quantitativi d'acqua, di mangimi ed inoltre contribuiscono all'emissione di CO₂ generata dall'attività metabolica dei pesci.

L'acquaponica è un nuovo sistema di produzione di specie acquatiche e vegetali che permette di avere numerosi vantaggi ambientali e produttivi ¹⁴. Questa tecnologia nasce dall'unione del sistema idroponico con quello di acquacoltura. In particolari condizioni di temperatura, pH e contenuto di nutrienti, le specie vegetali, ittiche e batteriche proliferano creando un vero e proprio ecosistema in cui ogni specie svolga un ruolo propedeutico alla vita dell'altra.

L'idroponica è una tecnica di coltivazione fuori suolo dalle origini molto antiche, ma che sta riaffiorando negli ultimi decenni. Con questo sistema è possibile avere una produzione più veloce e qualitativamente superiore rispetto alle tecniche convenzionali ^{15, 16}. I sistemi idroponici possono essere realizzati in diversi modi: sia prevedendo la coltivazione di piante in substrati (argilla espansa, lana di roccia ecc.) che in assenza di substrati; sia somministrando la soluzione nutritiva (acqua ed eventuali nutrienti aggiunti) tramite nebulizzazione che tramite immersione parziale o totale delle radici in serbatoi. La tecnica utilizzata durante l'attività sperimentale è del tipo *Deep Water Culture*, DWC e prevede l'immersione delle radici in una soluzione ossigenata e fertilizzata che funga da substrato e vettore per i nutrienti.

Anche l'acquacoltura è una tecnica sviluppatasi oltre 5000 anni fa, ma estremamente attuale. Negli ultimi decenni si sta realizzando un'ingegnerizzazione di questa pratica permettendo l'allevamento di organismi acquatici in ambienti confinati e controllati ¹⁷. Con l'acquacoltura è possibile integrare l'offerta globale di alimenti, ridurre la dipendenza dalla pesca selvaggia e migliorare la sostenibilità ambientale ¹⁸. Esistono diverse categorie di acquacoltura, infatti l'allevamento può essere realiz-

zato sia all'aperto, ad esempio in gabbie in mare, sia in apposite vasche ¹⁹. Per questo studio si è previsto l'utilizzo di sistemi di acquacoltura a ricircolo RAS, in cui l'acqua viene riutilizzata dopo essere stata sottoposta a trattamento, riducendo i consumi idrici e lo scarico di reflui nell'ambiente, che altererebbero la qualità ambientale ^{20, 21, 22, 23}.

Dall'unione dell'idroponica con l'acquacoltura, nasce l'acquaponica. Questa tecnica permette la creazione di un sistema in grado di riutilizzare acqua e nutrienti in maniera efficiente ²⁴. Sia l'acquacoltura che l'idroponica necessitano di grossi volumi di acqua, ma con l'acquaponica è possibile dividerla e sfruttare processi naturali per depurarla ottenendo una produzione di cibo sostenibile ²⁵. Infatti, i pesci con l'attività metabolica producono scarti che, tramite processi di nitrificazione e denitrificazione (ad opera di batteri presenti nel sistema), si trasformano in nutrienti per le piante. Esse assorbendoli, non solo non necessiteranno di fertilizzanti, ma opereranno una fitodepurazione che permetterà di restituire l'acqua pulita all'acquario, evitando di introdurne di nuova.

Progettazione, gestione e confronto di sistemi acquaponici

Per costruire un sistema acquaponico è necessario stabilire la tecnica più opportuna in funzione delle caratteristiche dell'ambiente in cui si realizzerà e del tipo di produzione che si vuole ottenere ²⁶. Le componenti fondamentali del sistema sono:

- Acquario: per l'allevamento dei pesci
- Unità idroponica: per la coltura delle specie vegetali
- Filtro meccanico e biologico: per rimuovere le sostanze di scarto prodotte dai pesci e favorirne la conversione in nutrienti per le piante

Per migliorare ulteriormente la qualità delle acque nel sistema è possibile realizzare trattamenti innovativi ^{27, 28, 29, 30}. Oltre ai trattamenti di filtrazione meccanica e biologica, che garantiscono la trasformazione dei composti tossici ammoniacali in nutrienti, possono essere implementati trattamenti di microfiltrazione ³¹ e disinfezione per abbattere la carica patogena e la torbidità ed ottimizzare la rimozione dei composti tossici ³².

In questo studio sperimentale si è deciso di realizzare un sistema acquaponico convenzionale ^{33, 34} ed un sistema acquaponico con trattamenti innovativi. In particolare, si è previsto l'utilizzo di una membrana autoformante (*self-forming dynamic membrane*, SFDM) ^{35, 36, 37} di un trattamento di disinfezione con ozono e con luce ultravioletta UV ^{38, 31}.

Le membrane autoformanti permettono di unire la filtrazione meccanica alla degradazione biologica ³⁹. Esse si realizzano sovrapponendo una serie di strati di materiale a bassa ed alta porosità; il flusso d'acqua, passando all'interno del corpo della membrana favorisce la creazione di uno strato di materiale biologico che diminuisce la dimensione dei pori e promuove la degradazione biologica del refluo ⁴⁰. Il permeato, ovvero il liquido che si preleva dopo questo trattamento, presenta un incremento dei parametri di qualità ⁴¹.

I batteri nitrificanti e denitrificanti svolgono un ruolo importante nel sistema acquaponico, al contrario, i batteri patogeni costituiscono un pericolo per le specie vegetali e animali ⁴². Per questo motivo, si è scelto di adottare un sistema di disinfezione sia con ozono che con UV. I batteri patogeni sono microrganismi in grado di moltiplicarsi velocemente, quindi è bene individuarli ed eliminarli. Dal momento che essi non sono facilmente rilevabili, si utilizzano degli organismi indicatori come gli *Escherichia Coli*, solitamente presenti in grande numero, e quindi semplici da identificare e usare come indice della presenza di altri patogeni ⁴³. Con il trattamento di disinfezione UV si penetra la membrana cellulare dei batteri e ne si causa la morte. Con l'ozono, invece, si creano dei radicali liberi che inattivano gli organismi in breve tempo. Combinando i due processi

si ha un miglioramento dell'efficienza di trattamento⁴⁴.

Lo scopo principale dell'attività è stato quello di valutare e confrontare l'efficienza dei trattamenti avanzati sulla qualità delle acque e sul ciclo dei nutrienti in esse presenti⁴⁵.

Recenti studi hanno dimostrato la necessità di recuperare i nutrienti dai reflui a causa della crescente domanda di fertilizzanti⁴⁶. Le tecniche per il recupero dei nutrienti possono essere di diverso tipo^{47, 48}, la maggior parte si basa sulla separazione del refluo dai fanghi, ad esempio è possibile utilizzare membrane per realizzare osmosi inversa, distillazione, ultrafiltrazione ed ottenere un fango ricco di nutrienti da utilizzare come fertilizzante⁴⁹. Un'alternativa promettente è la precipitazione della struvite, un minerale di fosforo e magnesio, che può essere poi utilizzato come fertilizzante.

Una tecnica per il recupero di nutrienti può essere la loro conversione in biomassa tramite l'utilizzo delle microalghe: dei microrganismi unicellulari che, utilizzando la radiazione solare come fonte energetica e l'anidride carbonica, sintetizzano molecole organiche. Le microalghe assorbono i nutrienti e li convertono in biomassa che può essere utilizzata per realizzare farina di pesce o fertilizzanti, "chiudendo il ciclo" dei nutrienti^{50, 51}. Le microalghe, infatti, presentano un adeguato contenuto di proteine, lipidi e carboidrati, tali da essere impiegate in sostituzione del mangime ottenendo buoni risultati nella composizione corporea dei pesci⁵².

In questa sperimentazione sono state allevate Tilapie del Nilo e coltivata insalata Trocadero e del Sarno. Per garantire la crescita ottimale delle tilapie e delle insalate è necessario garantire specifici range di parametri di qualità delle acque. Per monitorare tali grandezze, si è svolto un campionamento bisettimanale delle acque nelle diverse vasche al fine di valutare parametri fisico-chimici (pH, temperatura, potenziale redox (ORP), ossigeno disciolto (%DO, ppmDO), conducibilità e salinità, torbidità, carica batterica patogena, contenuto di carbonio, di anioni e di azoto ammoniacale). L'organizzazione del lavoro sperimentale è stato pianificato in modo dettagliato suddividendo l'attività in due cicli di quattro settimane. Il ciclo tipo ha previsto trattamenti diversi ogni settima-

na: solo membrana, membrana e UV, membrana e ozono, membrana e ozono+UV. I trattamenti sono stati applicati solo al sistema innovativo per valutarne l'efficacia rispetto a quello convenzionale. La differenza tra i due cicli sperimentali è di tipo tecnologico, infatti nel secondo ciclo sono state apportate delle correzioni: sostituzione della membrana (che era arrivata a fine vita), aumento del numero di piante, aumento del numero e del volume di acqua di ricircolo (per migliorare l'interazione tra le diverse unità).

Conclusioni

I risultati delle analisi hanno dimostrato l'efficienza dei trattamenti innovativi biologici e di disinfezione, ottimizzando la qualità delle acque, riducendo i solidi, la carica batterica e non alterando la quantità di nutrienti, ma anzi, migliorandone l'assorbibilità.

In definitiva, i sistemi acquaponici rappresentano una soluzione innovativa e sostenibile per l'urban farming, consentendo di realizzare un progresso rispettoso dell'ambiente, minimizzando i consumi di acqua, assicurando un'adeguata qualità e garantendo il riutilizzo dei nutrienti nell'ottica dell'economia circolare.

References

- 1.Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. A comparative approach to the variation of natural elements in Italian bottled waters according to the national and international standard limits. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**, 505–514 (2008).
- 2.Naddeo, V., Scannapieco, D. & Belgiorno, V. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. *Journal of Hydrology* **498**, 287–291 (2013).
- 3.Naddeo, V. & Korshin, G. Water energy and waste: The great European deal for the environment.

Science of The Total Environment **764**, 142911 (2021).

4.Nesticò, A., Elia, C. & Naddeo, V. Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming. *Land Use Policy* **99**, 104831 (2020).

5.Naddeo, V., Belgiorno, V., Zarra, T. & Scannapieco, D. Dynamic and embedded evaluation procedure for strategic environmental assessment. *Land Use Policy* **31**, 605–612 (2013).

6.Naddeo, V. Development of environmental biotechnology and control of emerging biological contaminants: the grand challenge for a sustainable future. *Water Environment Research* **92**, 1246–1248 (2020).

7.Patton, S., Romano, M., Naddeo, V., Ishida, K. P. & Liu, H. Photolysis of Mono- and Dichloramines in UV/Hydrogen Peroxide: Effects on 1,4-Dioxane Removal and Relevance in Water Reuse. *Environmental Science & Technology* (2018) doi:10.1021/acs.est.8b01023.

8.Ensano, B. M. B. *et al.*. Applicability of the electrocoagulation process in treating real municipal wastewater containing pharmaceutical active compounds. *Journal of Hazardous Materials* **361**, 367–373 (2019).

9.Naddeo, V., Ricco, D., Scannapieco, D. & Belgiorno, V. Degradation of Antibiotics in Wastewater during Sonolysis Ozonation, and Their Simultaneous Application: Operating Conditions Effects and Processes Evaluation. *International Journal of Photoenergy* **2012**, 1–7 (2012).

10.B.Ensano *et al.*. Removal of Pharmaceuticals from Wastewater by Intermittent Electrocoagulation. *Water* **9**, 85 (2017).

11.Corpuz, M. V. A. *et al.*. Viruses in wastewater: occurrence abundance and detection methods. *Science of The Total Environment* **745**, 140910 (2020).

12.Ibrahim, Y. *et al.*. Detection and removal of waterborne enteric viruses from wastewater: A

comprehensive review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **9**, 105613 (2021).

13.Senatore, V. *et al.*. Indoor versus outdoor transmission of SARS-COV-2: environmental factors in virus spread and underestimated sources of risk. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* **6**, (2021).

14.Yep, B. & Zheng, Y. Aquaponic trends and challenges – A review. *Journal of Cleaner Production* **228**, 1586–1599 (2019).

15.Majid, M. *et al.*. Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agricultural Water Management* **245**, 106572 (2021).

16.Felizeter, S., Jüriling, H., Kotthoff, M., Voogt, P. D. & McLachlan, M. S. Influence of soil on the uptake of perfluoroalkyl acids by lettuce: A comparison between a hydroponic study and a field study. *Chemosphere* **260**, 127608 (2020).

17.Zarra, T., Reiser, M., Naddeo, V., Belgiorno, V. & Kranert, M. A Comparative and Critical Evaluation of Different Sampling Materials in the Measurement of OdourConcentration by Dynamic Olfactometry. *Chemical Engineering Transactions* **30**, 307-312, (2012).

18.Fiorella, K. J., Okronipa, H., Baker, K. & Heilpern, S. Contemporary aquaculture: implications for human nutrition. *Current Opinion in Biotechnology* **70**, 83–90 (2021).

19.Scannapieco, D., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy* **36**, 478–484 (2014).

20.Scannapieco, D., Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. River water quality assessment: A comparison of binary- and fuzzy logic-based approaches. *Ecological Engineering* **47**, 132–140 (2012).

21.Naddeo, V., Zarra, T. & Belgiorno, V. Optimization of sampling frequency for river water qual-

- ity assessment according to Italian implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy* **10**, 243–249 (2007).
- 22.Ebeling, J. M. & Timmons, M. B. Recirculating Aquaculture Systems. in *Aquaculture Production Systems* 245–277 (Wiley-Blackwell, 2012). doi:10.1002/9781118250105.ch11.
- 23.Nikolaou, A. D. *et al.*. Multi-parametric water quality monitoring approach according to the WFD application in Evros trans-boundary river basin: priority pollutants. *Desalination* **226**, 306–320 (2008).
- 24.Naddeo, V., Balakrishnan, M. & Choo, K. *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability*. (<https://www.springer.com/gp/book/9783030130671>, 2018).
- 25.Wei, Y. *et al.*. Equipment and Intelligent Control System in Aquaponics: A Review. *IEEE Access* **7**, 169306–169326 (2019).
- 26.Mohapatra, B. C., Chandan, N. K., Panda, S. K., Majhi, D. & Pillai, B. R. Design and development of a portable and streamlined nutrient film technique (NFT) aquaponic system. *Aquacultural Engineering* **90**, 102100 (2020).
- 27.Landi, M., Naddeo, V. & Belgiorno, V. Influence of ultrasound on phenol removal by adsorption on granular activated carbon. *Desalination and Water Treatment* **23**, 181–186 (2010).
- 28.Ibrahim, Y., Abdulkarem, E., Naddeo, V., Banat, F. & Hasan, S. W. Synthesis of super hydrophilic cellulose-alpha zirconium phosphate ion exchange membrane via surface coating for the removal of heavy metals from wastewater. *Science of The Total Environment* **690**, 167–180 (2019).
- 29.Naddeo, V., Landi, M., Scannapieco, D. & Belgiorno, V. Sonochemical degradation of twenty-three emerging contaminants in urban wastewater. *Desalination and Water Treatment* **51**, 6601–6608 (2013).

- 30.Feola, R. Riutilizzo delle acque: cosa sono le clorammine e qual è il loro ruolo nei trattamenti avanzati?. (2020) doi:10.22541/au.157919031.14329406.
- 31.Borea, L. *et al.*. Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency. *Ultrasonics* **83**, 42–47 (2018).
- 32.Naddeo, V., Cesaro, A., Mantzavinos, D., Fatta-Kassinos, D. & V., V. B. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Issue 3* **16**, 561–577 (2014).
- 33.Regno, M. D. Processi naturali per il recupero e il riutilizzo delle acque nei sistemi acquaponici. (2020) doi:10.22541/au.158525193.30158307.
- 34.Muro, G. D. Verso una agricoltura urbana sostenibile: i sistemi acquaponici per il recupero e il riutilizzo delle acque . (2020) doi:10.22541/au.158525190.07859900.
- 35.Pollice, A. & Vergine, P. Self-forming dynamic membrane bioreactors (SFD MBR) for wastewater treatment: Principles and applications. in *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* 235–258 (Elsevier, 2020). doi:10.1016/b978-0-12-819854-4.00010-1.
- 36.Fortunato, L., Ranieri, L., Naddeo, V. & Leiknes, T. Fouling control in a gravity-driven membrane (GDM) bioreactor treating primary wastewater by using relaxation and/or air scouring. *Journal of Membrane Science* **610**, 118261 (2020).
- 37.Pervez, M. N. *et al.*. A critical review on nanomaterials membrane bioreactor (NMs-MBR) for wastewater treatment. *npj Clean Water* **3**, (2020).
- 38.Prado, M. *et al.*. Removal of emerging contaminant and fouling control in membrane bioreactors by combined ozonation and sonolysis. *International Biodeterioration & Biodegradation* **119**, 577–586 (2017).
- 39.Borea, L. *et al.*. Are pharmaceuticals removal and membrane fouling in electromembrane bioreactor affected by current density?. *Science of The Total Environment* **692**, 732–740 (2019).

40. Millanar-Marfa, J. M. J. *et al.*. Advanced membrane bioreactors for emerging contaminant removal and quorum sensing control. in *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* 117–147 (Elsevier, 2020). doi:10.1016/b978-0-12-819854-4.00006-x.
41. Naddeo, V. *et al.*. Removal of contaminants of emerging concern from real wastewater by an innovative hybrid membrane process – UltraSound Adsorption and Membrane ultrafiltration (USAMe®). *Ultrasonics Sonochemistry* **68**, 105237 (2020).
42. Naddeo, V. & Taherzadeh, M. J. Biomass valorization and bioenergy in the blue circular economy. *Biomass and Bioenergy* **149**, 106069 (2021).
43. Ali, A. A. A., Naddeo, V., Hasan, S. W. & Yousef, A. F. Correlation between bacterial community structure and performance efficiency of a full-scale wastewater treatment plant. *Journal of Water Process Engineering* **37**, 101472 (2020).
44. Buonerba, A. *et al.*. Coronavirus in water media: Analysis fate, disinfection and epidemiological applications. *Journal of Hazardous Materials* **415**, 125580 (2021).
45. Naddeo, V., Hasan, S. W., Liu, H., Puig, S. & Yip, N. *Environmental Technologies for the Sustainable Development of the Water and Energy Sectors*. (IWA Publishing, 2020). doi:10.2166/9781789062328.
46. Xie, M., Shon, H. K., Gray, S. R. & Elimelech, M. Membrane-based processes for wastewater nutrient recovery: Technology challenges, and future direction. *Water Research* **89**, 210–221 (2016).
47. Oladoja, N. A., Adelagun, R. O. A., Ahmad, A. L. & Ololade, I. A. Phosphorus recovery from aquaculture wastewater using thermally treated gastropod shell. *Process Safety and Environmental Protection* **98**, 296–308 (2015).
48. Zhang, H. *et al.*. Recovery of nutrients from fish sludge in an aquaponic system using biological

aerated filters with ceramsite plus lignocellulosic material media. *Journal of Cleaner Production* **258**, 120886 (2020).

49.Schütte, T., Niewersch, C., Wintgens, T. & Yüce, S. Phosphorus recovery from sewage sludge by nanofiltration in diafiltration mode. *Journal of Membrane Science* **480**, 74–82 (2015).

50.Milhazes-Cunha, H. & Otero, A. Valorisation of aquaculture effluents with microalgae: The Integrated Multi-Trophic Aquaculture concept. *Algal Research* **24**, 416–424 (2017).

51.Jung, J. *et al.*. Autotrophic biofloc technology system (ABFT) using *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* positively affects performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Algal Research* **27**, 259–264 (2017).

52.Nie, X., Mubashar, M., Zhang, S., Qin, Y. & Zhang, X. Current progress challenges and perspectives in microalgae-based nutrient removal for aquaculture waste: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production* **277**, 124209 (2020).

53.Errami, M. & Garner, H. A tale of two citations. *Nature* **451**, 397–399 (2008).

Figure Captions

Figure 1. Piante a foglia verde in acquaponica

Figures



Figure 1: Piante a foglia verde in acquaponica