

# Trattamenti avanzati delle acque per la nuova generazione di sistemi acquaponici: implementazione dell'economia circolare nell'agricoltura urbana

Domenico Di Micco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Affiliation not available

## Abstract

La crescente domanda alimentare nel mondo rappresenta una sfida per il controllo dell'inquinamento a causa dell'insostenibilità dei sistemi produttivi tradizionali. Nell'ottica dell'economia circolare è fondamentale individuare nuovi modelli sostenibili per la produzione alimentare come l'agricoltura acquaponica. I sistemi acquaponici combinano l'efficacia dell'agricoltura fuori suolo all'acquacoltura a ricircolo, creando un unico sistema integrato per la produzione simultanea di due prodotti alimentari: pesci e piante. Tra i numerosi vantaggi di questa tecnologia spiccano il notevole risparmio idrico, l'assenza di suolo fertile o di fertilizzanti per le coltivazioni, e la grande versatilità impiantistica. Nel panorama delle produzioni acquaponiche esistono molte tecnologie di trattamento delle acque di ricircolo, tradizionali o innovative. Le membrane dinamiche auto-formanti (SFD-MBR) e i processi di ossidazione avanzata (AOPs) sono alcuni esempi di processi avanguardistici che possono essere implementati nei sistemi acquaponici. Se adoperati simultaneamente, permettono di migliorare notevolmente la qualità delle acque, potenziare lo scambio di nutrienti e ridurre la carica patogena per la produzione agricola.

## L'agricoltura urbana

Secondo l'economista inglese Thomas Malthus la società moderna raggiungerà un punto in cui i mezzi di produzione non basteranno per soddisfare la crescente domanda alimentare. D'altronde la FAO riporta che nei prossimi 30 anni sarà necessario incrementare la produzione agricola del 70% rispetto a quella odierna per rispondere alla pressante crescita demografica mondiale <sup>1</sup>. Inoltre l'attuale industria alimentare racchiude una contraddizione spiazzante: il 9% della popolazione mondiale soffre la fame, e allo stesso tempo un terzo del cibo prodotto viene sprecato ogni anno. Ad ogni modo la scarsità di alimenti non è l'unico limite dell'attuale sistema agricolo: una delle maggiori preoccupazione è lo sfruttamento eccessivo delle risorse naturali - come l'acqua e il suolo - e l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi che causano il degrado degli ecosistemi naturali <sup>2 3</sup>.

Per rispondere a queste problematiche si può ricorrere all'*urban farming*, un modello ecosostenibile che consiste nella produzione agricola direttamente in città. In questo modo l'agricoltura urbana offre una possibilità di rigenerazione agli spazi inutilizzati o dimenticati <sup>4</sup> attraverso la creazione di orti, serre e tetti verdi. Si tratta di una soluzione dal forte impatto socioeconomico che contribuisce all'economia di piccola scala attraverso la produzione alimentare a km zero.

## Le colture fuori suolo: dall'idroponica all'acquaponica

Nel panorama dell'*urban farming* rientra l'agricoltura fuori suolo, che consiste nella coltivazione di piante e ortaggi mediante soluzioni ricche di nutrienti. La crescente domanda di colture fuori stagione ha infatti costretto il settore agricolo ad esplorare nuove tecniche di coltura e sistemi con capacità produttive sempre maggiori. Nello specifico, l'idroponica è una tecnica di produzione in

cui le colture sono allocate in un mezzo acquoso da cui traggono nutrimento. I nutrienti infatti possono essere assorbiti dalle radici nude sotto forma di ioni inorganici disciolti in acqua <sup>5</sup>. La soluzione nutritiva utilizzata per colture idroponiche contiene tutti i macronutrienti (azoto, fosforo, potassio, calcio, magnesio e zolfo) e micronutrienti (ferro, rame, manganese, zinco molibdeno e boro) necessari per lo sviluppo delle piante <sup>6</sup>.

Dall'integrazione tra l'idroponica e un sistema di acquacoltura a ricircolo (in cui si svolge l'allevamento ittico per il consumo umano attraverso un ricircolo idrico) nasce l'acquaponica <sup>7</sup>. Nei sistemi acquaponici le specie acquatiche producono una grande quantità di scarti metabolici che viene trasformata in nutrienti per le piante grazie all'attività batterica. I batteri nitrificanti sono il vero motore biologico del ciclo acquaponico in quanto ossidano l'ammoniaca prodotta dai pesci e producono i nitrati, che sono i nutrienti fondamentali per la crescita vegetale <sup>8</sup>. In seguito l'acqua viene depurata dalle piante stesse e può tornare alle vasche di allevamento dei pesci. In questo modo si mitigano due pressioni ambientali: l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi per l'agricoltura, e lo smaltimento delle acque reflue degli impianti di acquacoltura.

L'acquaponica è un sistema integrato che non richiede l'uso del suolo e comporta consumi idrici minimi poiché permette di risparmiare oltre il 90% dell'acqua necessaria per l'agricoltura tradizionale. Infatti l'applicazione commerciale dell'acquaponica sta crescendo soprattutto nelle regioni del mondo dove c'è una forte scarsità idrica e assenza di suoli fertili, come nel Medio Oriente e nel Nord Africa (Paesi MENA) <sup>9</sup>.

## **Trattamenti delle acque in acquaponica**

L'acquaponica mette in atto un ricircolo idrico ed è pertanto necessario monitorare costantemente i parametri di qualità delle acque, al fine di preservare il benessere delle specie ittiche e la crescita

delle piante. Nei sistemi acquaponici su piccola scala, come quelli domestici, la qualità dell'acqua di ricircolo viene assicurata dalla semplice azione depurativa che le piante esercitano su di essa, chiamata "fitodepurazione" <sup>10</sup>. Tuttavia, nei sistemi acquaponici su grande scala, come quelli commerciali, in cui la densità di allevamento delle specie acquatiche è molto elevata, la fitodepurazione non può compensare da sola la cospicua produzione di rifiuti fecali dei pesci. Infatti si producono grandi quantità di rifiuti solidi: per ogni kg di mangime, i pesci producono 0,25 kg di solidi fecali al giorno <sup>11</sup>. In secondo luogo, la maggior parte dei pesci assimila solo il 30-40% del cibo digerito, mentre il 60-70% è rilasciato come scarto, di cui il 50-70% è disperso sotto forma di ammoniaca, e i rifiuti restanti sono un mix organico di proteine, carboidrati, grassi, vitamine e minerali <sup>3</sup>.

Per queste ragioni è essenziale ingegnerizzare il ciclo acquaponico con un'apposita filiera di trattamento delle acque reflue. Le principali unità di trattamento sono il filtro meccanico, per la rimozione dei solidi sospesi e/o sedimentabili, e il filtro biologico, per l'ossidazione dei solidi disciolti. Tuttavia la notevole diversificazione tra gli impianti acquaponici nel mondo impedisce di stabilire una prassi esclusiva ed unitaria per il trattamento delle acque, e alcune tecnologie innovative stanno superando quelle tradizionali.

Il primo trattamento è la rimozione dei solidi, la cui decomposizione potrebbe causare condizioni critiche per la salute dell'ecosistema <sup>12</sup>. Occorre rimuovere i solidi sedimentabili per mezzo di separatori meccanici come le vasche di sedimentazione (conica, a vortice, a flusso radiale, a pianta rettangolare), e la porzione sospesa attraverso i filtri meccanici automatizzati (a griglia, a tamburo, a dischi).

Successivamente avviene il processo biologico all'interno dei biofiltri, ovvero dispositivi che facilitano la colonizzazione batterica per l'ossidazione della sostanza organica <sup>13</sup>. Si tratta di un processo a "colture adese" poiché i batteri nitrificanti, come Nitrosomonas e Nitrobacter, agiscono metabolicamente solo se aderiscono ad un substrato di supporto, fisso o mobile. In questo modo le colonie batteriche formano una pellicola biologica, chiamata "biofilm", che permane sul biofiltro

finché non intervengono fenomeni metabolici che ne causano il distacco. Nel caso in cui il biofiltro sia correttamente progettato, la nitrificazione può ossidare fino al 95% dell'azoto ammoniacale <sup>3</sup>. Attualmente i biofiltri più diffusi sono: biofiltri percolatori, biofiltri MBBR (*moving bed biofilters*) e biofiltri a letto fluido.

## Nuove tecnologie di trattamento

L'attività sperimentale, ha permesso di testare l'efficacia di nuove tecnologie di trattamento delle acque all'interno dei sistemi acquaponici, realizzando un confronto empirico con un sistema acquaponico convenzionale. Il set up sperimentale ha previsto l'installazione di due sistemi acquaponici in parallelo con allevamento di Tilapia e produzione di lattuga. Le tecnologie implementate sono: un trattamento MBR (membrane bioreactor) e un processo di ossidazione avanzata (advanced oxidation processes AOPs) con ozono e raggi UV per la disinfezione del refluo.

Il trattamento MBR è stato attivato con l'ausilio di una membrana dinamica auto-formante SFD-M (*self forming dynamic membrane*). Le membrane auto-formanti sono prodotte dalla deposizione di composti organici, colloidali e solidi sospesi sul materiale di supporto <sup>14,15</sup>. Si tratta di una tipologia unica nel suo genere che sfrutta i contaminanti per creare uno strato di filtrazione <sup>16</sup>. Le membrane possono rimuovere le particelle più piccole (0,001-35  $\mu\text{m}$ ) <sup>17,18</sup> che sfuggono alle tradizionali tecnologie filtranti: i separatori a vortice e le vasche di sedimentazione, riescono a trattenere solo particelle solide con diametro maggiore di 100  $\mu\text{m}$ , mentre i separatori meccanici a griglia e a tamburo possono arrivare ad un minimo di 30  $\mu\text{m}$  <sup>19</sup>. Il tempo impiegato per la formazione della membrana può variare da pochi minuti ad alcuni giorni, in base alla grandezza dei pori del materiale di supporto, alle dimensioni dei solidi in soluzione, alle caratteristiche del fango e alle condizioni operative <sup>14,20</sup>.

Il funzionamento della membrana non è sempre ottimale nel tempo a causa del graduale ricopri-mento del substrato poroso da parte del refluo in trattamento <sup>21,22</sup>. Quest'ultimo fenomeno è noto come fouling e può essere attribuito sia alla precipitazione di composti inorganici poco solubili che ad inevitabili manifestazioni biologiche generate da colonie microbiche che interagiscono con la membrana <sup>23</sup>. Questi sistemi presentano i seguenti vantaggi rispetto ai convenzionali MBR: flusso elevato e bassa resistenza alla filtrazione, facile controllo del fouling, costi e dispendio energetico ridotti, e facile manutenzione <sup>24</sup>.

In secondo luogo, i processi di disinfezione mirano a ridurre le contaminazioni fecali per il consu- mo umano, attraverso l'uccisione e l'inattivazione dei microorganismi patogeni (virus e batteri) <sup>25 26</sup>. In particolare, i processi di ossidazione avanzata (AOPs) conseguono un duplice risultato: degrada- zione di inquinanti organici e simultanea disinfezione <sup>27,28 29</sup>. Negli impianti acquaponici il rischio di contaminazione fecale da *Escherichia Coli* è relativamente basso ma permane nel caso in cui si utilizzi acqua di scarsa qualità, o nel caso di diretto contatto con gli scarti fecali di animali a sangue caldo <sup>30</sup>.

## Conclusioni

Sulla base dei dati raccolti è stata dimostrata l'efficacia dei trattamenti implementati. In primo luogo, il trattamento di filtrazione biologica ha potenziato la nitrificazione batterica per elaborare i solidi disciolti e aumentare la produzione dei nutrienti indirizzati alle colture. In secondo luogo, il trattamento chimico-fisico di ha dimostrato un tasso di abbattimento elevato della carica patogena. I risultati ottenuti nella presenta attività sperimentale si inseriscono nel contesto più ampio della continua ricerca sugli impianti acquaponici per la sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

## References

- 1.Hui, S. Green roof urban farming for buildings in high-density urban cities. (2011).
- 2.Hasan, S., Liu, H., Naddeo, V., Puig, S. & Yip, N. Editorial: Environmental technologies for the sustainable development of the water and energy sectors. *Water Science and Technology* **81**, iii–iv (2020).
- 3.*Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming.* (2014).
- 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.Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *New Phytologist* **228**, 1183–1192 (2020).
- 6.H. Roosta, M. H. MINERAL NUTRIENT CONTENT OF TOMATO PLANTS IN AQUAPONIC AND HYDROPONIC SYSTEMS: EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF SOME MACRO- AND MICRO-NUTRIENTS. *Journal of Plant Nutrition* **36**, 2070–2083 (2013).
- 7.M. Eck, M. J., O. Körner. Aquaponics Food Production Systems. (2019) doi:10.1007/978-3-030-15943-6.
- 8.Ammonia-oxidizing microbial communities in reactors with efficient nitrification at low-dissolved oxygen. *Water Research* **70**, 38–51 (2015).
- 9.S.Goddek *et al.*. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. *Sustainability* **7**, 4199–4224 (2015).
- 10.Microbiome engineering to improve biocontrol and plant growth-promoting mechanisms. *Mi-*

*crobiological Research* **208**, 25–31 (2018).

11. Wei, Y. *et al.*. Equipment and Intelligent Control System in Aquaponics: A Review. *IEEE Access* **7**, 169306–169326 (2019).

12. T. Pfeiffer, M. D., A. Osborn. Particle sieve analysis for determining solids removal efficiency of water treatment components in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* **39**, 24–29 (2008).

13. K. Buzby, L. L. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering* **63**, 39–44 (2014).

14. Mohan, S. & Nagalakshmi, S. A review on aerobic self-forming dynamic membrane bioreactor: Formation performance, fouling and cleaning. *Journal of Water Process Engineering* **37**, 101541 (2020).

15. Millanar-Marfa, J. *et al.*. Self-forming Dynamic Membranes for Wastewater Treatment. *Separation & Purification Reviews* 1–17 (2021) doi:10.1080/15422119.2021.1887223.

16. A Review on Dynamic Membrane Bioreactors: Comparison of Membrane Bioreactors and Different Support Materials, Transmembrane Pressure. (2016).

17. 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).

18. 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).

19. Wang, C., Chang, C., Chien, Y. & Lai, H. The performance of coupling membrane filtration in recirculating aquaponic system for tilapia culture. *International Biodeterioration & Biodegradation*

tion **107**, 21–30 (2016).

20. Pervez, M. *et al.*. A critical review on nanomaterials membrane bioreactor (NMs-MBR) for wastewater treatment. *npj Clean Water* **3**, (2020).

21. 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).

22. 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).

23. V. Naddeo, v. B. *BIOREATTORI A MEMBRANE PER LA DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE*. (2013).

24. Xiong, J., Fu, D., Singh, R. & Ducoste, J. Structural characteristics and development of the cake layer in a dynamic membrane bioreactor. *Separation and Purification Technology* **167**, 88–96 (2016).

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

26. Naddeo, V., Cesaro, A., Mantzavinos, D., Fatta-Kassinos, D. & Belgiorno, V. Water and wastewater disinfection by ultrasound irradiation - a critical review. *Issue 3* **16**, 561–577 (2014).

27. 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).

28. Borea, L. *et al.*. Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency. *Ultrasonics* **83**, 42–47 (2018).

29. Patton, S., Romano, M., Naddeo, V., Ishida, K. P. & Liu, H. Photolysis of Mono- and Dichlo-

ramines 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.

30. Al-Harbi, A. Faecal coliforms in pond water sediments and hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* in Saudi Arabia. *Aquaculture Research* **34**, 517–524 (2003).

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

32. Deng, Y. & Zhao, R. Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports* **1**, 167–176 (2015).

33. Advanced Oxidation Processes for the remediation of water contaminated by emerging pollutants. (2012).

## Figure Captions

Figure 1. Coltivazione di lattuga fuori suolo

## Figures



Figure 1: Coltivazione di lattuga fuori suolo