

COMUNE DI PIOMBINO

(PROVINCIA DI LIVORNO)

LOCALITÀ VIGNARCA

PROGETTO PER LA RIQUALIFICAZIONE E L'AMPLIAMENTO DELL'ATTIVITÀ ESISTENTE DI ITTICOLTURA

VALUTAZIONE D'IMPATTO AMBIENTALE

art. 23 Dlgs.152/2006 e art. 52 LRT 10/2010



RICHIEDENTE: **IGF Società Agricola s.r.l.**

LOC. VIGNARCA, N.24 - 57025 PIOMBINO (LI)

SEDE LEGALE: VIA E. FERMI, N.7 -00012 GUIDONIA MONTECELIO (RM)

P.IVA - C.F.: 01653590537



OGGETTO:
RELAZIONE TECNICA IMPIANTO FITODEPURAZIONE

DATA AGOSTO 2023

AGG.

GRUPPO DI LAVORO:

Progettazione:

Arch. Cristina Guerrieri

Geol. Luca Finucci

Arch. Francesca Guerriero

Biol. Paolo De Marzi

Biol. Diogo Nunes Rosado

Dott. Marco Caramelli acustico

Studio d'Impatto Ambientale:

Geol. Simona Petrucci

Valutazione Appropriata:

Biol. Piera Lisa Di Felice

R8

Impianto di fitodepurazione

Le acque reflue prodotte dall'industria dell'acquacoltura contengono infatti composti azotati (N) e fosforo (P) in forma organica e inorganica. (Buhmann and Papenbrock, 2013). Il particolato e la materia organica disciolta eccedenti da questi impianti rappresentano una delle principali preoccupazioni poiché possono portare a fenomeni di eutrofizzazione dannosi sia per gli organismi allevati che per l'ambiente e l'uomo (Buhmann and Papenbrock, 2013; Milhazes-Cunha and Otero, 2017). Al fine di limitare gli impatti ambientali generati dall'industria dell'acquacoltura e garantire la sostenibilità di questo settore, è necessario che vengano mantenuti elevati standard di produzione attraverso l'utilizzo di sistemi di trattamento delle acque reflue innovativi, nonché attraverso il recupero dei sottoprodotti combinando l'utilizzo di biofiltri e sistemi multi trofici integrati (Campanati et al., 2021).

I sistemi di acquacoltura a ricircolo (RAS) sono sistemi ad alta tecnologia basati sul riutilizzo e il trattamento dell'acqua, attraverso l'applicazione di processi meccanici, chimici e biologici. Sono sistemi chiusi o semichiusi sul terreno che riducono il consumo di acqua e il rilascio di sostanze nutritive e inquinanti nell'ambiente (Zhang et al., 2011). Si stima che entro il 2030 oltre il 40% della produzione mondiale di acquacoltura sarà generata in RAS, il che diversificherà e intensificherà il settore dell'acquacoltura (Badiola et al., 2012).

A causa del maggiore controllo dei loro effluenti rispetto ai sistemi idrici aperti, i RAS sono diventati ottimi candidati da combinare con i sistemi integrati per la produzione di specie estrattive, acquacoltura multitrofica integrata (Martins et al., 2010). In accordo con Robaina et al. (1999), in D. labrax, il 39% dell'azoto derivante dall'alimentazione viene escreto ei reflui. Nel processo di biofiltrazione che fa parte del trattamento dell'acqua in RAS, l'ammoniaca viene ossidata a nitrato che può essere rimosso mediante biofiltri denitrificanti (Van Rijn et al., 2006).

I nitrati prodotti dai RAS sono immediatamente disponibili per la produzione di piante in coltura idroponica. Questa produzione consente un processo di rimozione nei nutrienti più conforme ai requisiti dell'acquacoltura sostenibile. I nutrienti contenuti nelle acque reflue, infatti, vengono sottratti dall'acqua e accumulati in maniera significativa, sotto forma di azoto e fosforo organico, nei tessuti nelle piante, trasformando, attraverso l'acquaponica, il problema rappresentato dai nutrienti in una risorsa economica (Alfheaid et al., 2022; Spradlin and Saha, 2022).

Infatti, sistemi di acquacoltura multitrofica integrata (*Integrated Multi-Trophic Aquaculture-IMTA*) si basano sulla co-coltivazione di più specie, alimentate ed estrattive, appartenenti a diversi livelli trofici, in grado di produrre biomassa, di ridurre il carico dei nutrienti eccedenti dall'impianto, con un effetto fitodepurativo, incrementando la sostenibilità ambientale ed economica del settore dell'acquacoltura (Barrington et al., 2010; Zhang et al., 2011; Milhazes-Cunha, e Otero, 2017; Knowler et al., 2020; Mansour et al., 2022; Thomas et al., 2021; Troell et al., 2009; Aquilino et al., 2020; Campanati et al., 2021; Nguyen et al., 2022; Beyer et al., 2021; Buhmann and Papenbrock, 2013; Fitzner et al., 2021; Turcios et al., 2014).

Nei sistemi di fitodepurazione degli impianti di acquacoltura marini, trovano applicazione le piante alofite che sono in grado di vegetare a salinità levate e di assorbire diverse forme di N, in funzione dei fattori ambientali (Alfheea et al., 2022; Diaz et al., 2020; Beyer et al., 2021; Gómez Suárez et al., 2021, Araneda et al., 2022; Shpigel et al., 2013; Turcios et al., 2014; Waller et al., 2015; EL-Amier et al., 2022; Webbe et al., 2012; 2013; Quintã et al., 2015; Buhmann and Papenbrock, 2013; Diaz et al., 2020; ; Fitzner et al., 2021; Gómez Suárez et al., 2021). Ad esempio, i risultati dei tassi di rimozione dei nitrati ottenuti da *S. neei* ($11,25 \pm 31,38$ g m, 2 giorni, 1) rendono questa specie un potenziale candidato ideale per la rimozione di questo composto presente negli effluenti marini RAS. L'accumulo di composti organici è stato corroborato dall'ottenimento di un aumento significativo ($p < 0,05$) del contenuto di N organico ($31,2 \pm 0,1$ mg g peso secco, 1) e P organico ($4,0 \pm 0,6$ mg g peso secco, 1) nella biomassa vegetale alla fine delle prove.

I limiti dell'applicazione di sistemi di fitodepurazione basati sull'uso di alofite sono determinati dal fatto che queste specie, generalmente, non sono in grado di galleggiare, quindi necessitano di interventi per la realizzazione di bacini di fitodepurazione complessi e costosi che vanificano uno degli aspetti più interessanti di questo tipo di depurazione che è legato al costo contenuto e al basso impatto sull'ambiente, rispetto ai metodi fisici e chimici, ma richiedono grandi superfici (Wang et al. 2019).

Letti ecologici galleggianti (EFB)

Tra le tecnologie utilizzate per i sistemi di fitodepurazione per il trattamento di acque di origine agricola e di reflui zootecnici l'uso di letti ecologici galleggianti (EFB) trova un sempre più vasto impiego. I EFB sono una tecnologia relativamente nuova che sta riscuotendo un interesse crescente nell'ultimo decennio, in quanto presentano il vantaggio di bassi costi di installazione e manutenzione e non richiedono un consumo aggiuntivo di suolo in quanto possono essere installati su corpi idrici esistenti (Zhao et al. 2012; Deng e Ni, 2013; Cui et al., 2018; Samal et al., 2019).

I EFB si basano sulla utilizzazione di sistemi di coltura galleggianti, in polimeri a bassa densità, sui quali vengono coltivate singole o consociazioni di piante, di cui è nota l'elevata capacità di depurazione, ma che non sono in grado di galleggiare autonomamente e che sono capaci di sviluppare apparati radicali profondi, che sono utilizzate come estrattori di nutrienti. In alcuni casi hanno raggiunto un'efficienza del 99% in microcosmo e poco più del 75% in campo (Guo et al., 2014; Bartucca et al., 2016; Kumwimba et al., 2023).

Questo sistema di fitodepurazione permette di trattare grandi volumi di acqua in spazi relativamente contenuti ed è adatto alla depurazione in alveo in canali, fi umi e fossati, ma può essere realizzato anche all'interno di vasche preesistenti o opportunamente realizzate. Inoltre, l'uso di elementi galleggianti modulari, consente di realizzare letti flottanti di forme e dimensioni diverse costituisce un ulteriore elemento

a favore della loro utilizzazione, in quanto consente di realizzare sistemi modulari adattabili a specifiche esigenze (Borin *et al.*, 2021).

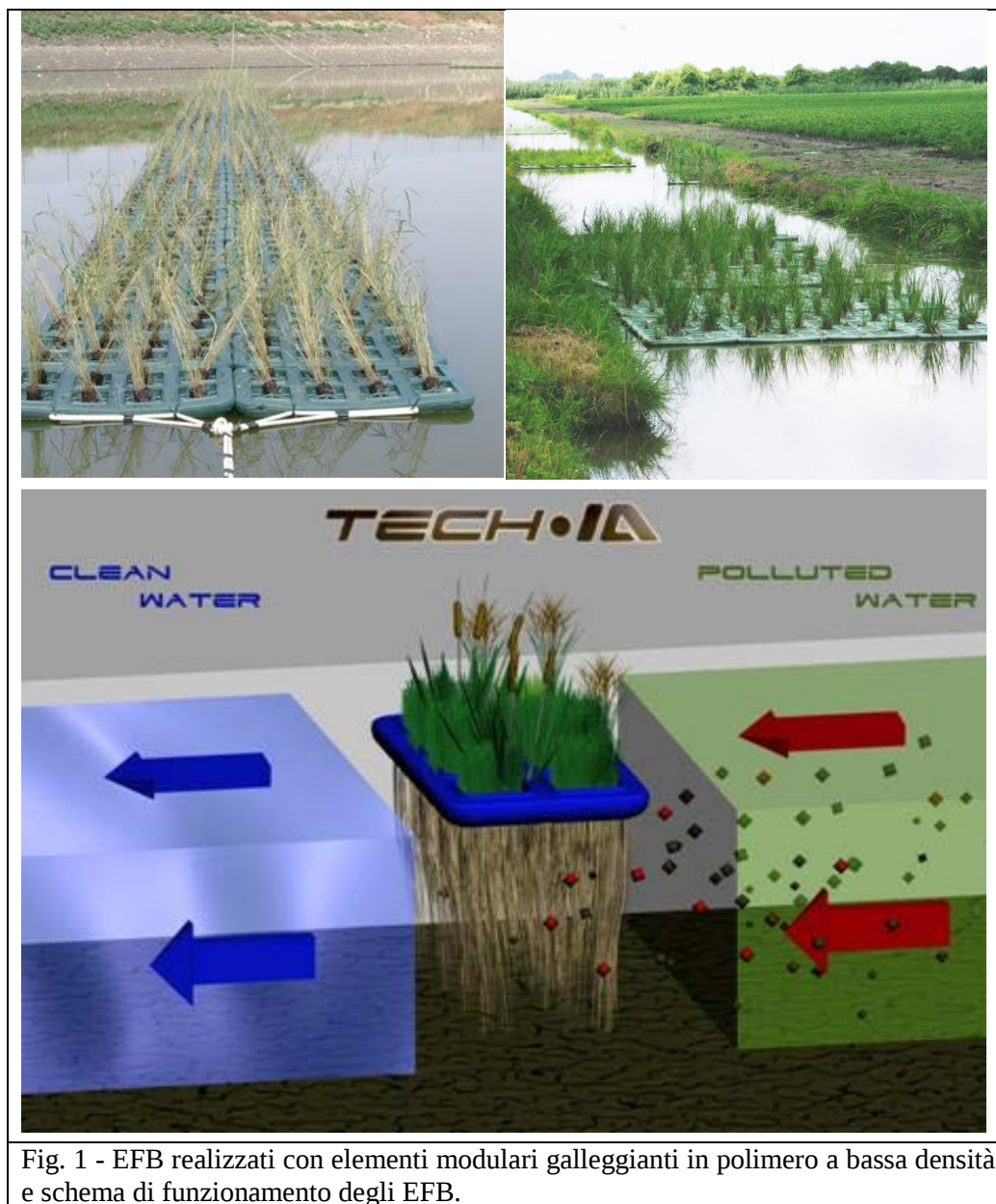


Fig. 1 - EFB realizzati con elementi modulari galleggianti in polimero a bassa densità e schema di funzionamento degli EFB.

In alcuni casi l'uso di isole flottanti può contribuire ad arricchire di vegetazione di grandi vasche in cemento dove è completamente assente la componente vegetale, contribuendo a migliorare l'aspetto estetico del sistema in cui l'impianto di fitodepurazione è inserito, combinando il ripristino della qualità delle acque con il ripristino del paesaggio (Song *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020.)



Fig. 2 – Integrazione dei EFB nell’ambiente circostante e interventi di restauro del paesaggio.

Nei EFB le radici delle piante che possono superare il metro di profondità, oltre che a provvedere direttamente all’assorbimento dei nutrienti, ospitano batteri simbiotici che, associati alla capacità fitodepurante delle piante, contribuiscono significativamente alla efficienza del sistema.

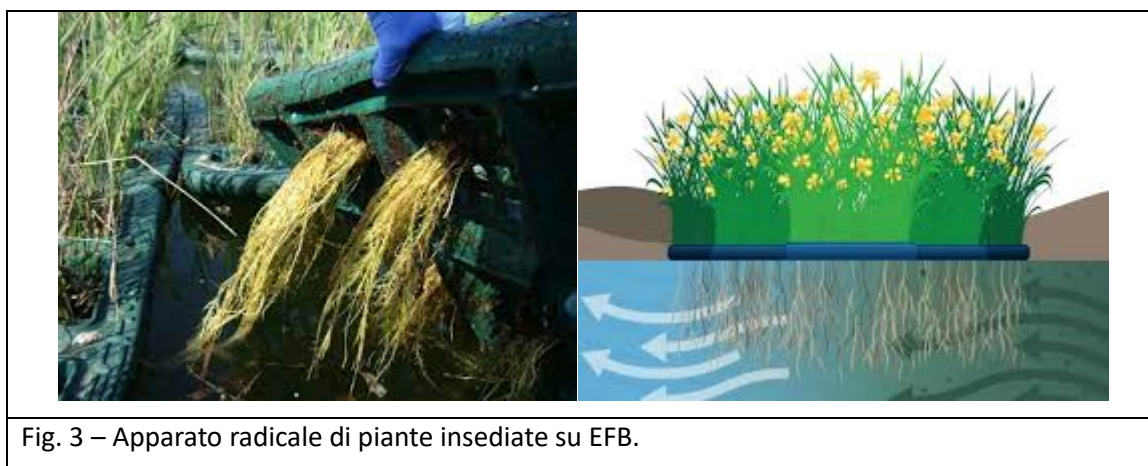


Fig. 3 – Apparato radicale di piante insediate su EFB.

Una volta maturo, gli EFB non solo sono in grado di eliminare efficacemente i componenti di azoto e fosforo, ma contribuiscono in maniera efficace e significativa alla rimozione delle sostanze organiche, grazie alla flora microbica che si insedia sulle radici.

La crescita dei batteri (sia aerobi che anaerobi) sulle radici che, lavorando sinergicamente con le piante, aumentano notevolmente la capacità depurativa dei EFB, può essere aumentata con l’uso di supporti integrati con riempitivi quali ad esempio zeoliti, rocce vulcaniche e calcare (Cuji *et al.*, 2018; Song *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2021). I batteri, inoltre, sono in grado di favorire la crescita delle piante attraverso la degradazione dei substrati macromolecolari, aumentando notevolmente l’efficienza del sistema (Liu *et al.*, 2021).

Gli EFB sono stati utilizzati con successo anche per la depurazione dei reflui di impianti di acquacoltura (Li e Li, 2009; Gaballah *et al.*, 2021), in particolare di quelli in RAS, dove l’accumulo di nitrati rappresenta un problema significativo (Van Rijn *et al.* 2006; Alfheaid *et al.*, 2022; Spradlin e Saha, 2022).

La maggior parte delle applicazioni della tecnologia dei EFB riguarda le acque dolci (Zhao *et al.* 2012; Deng e Ni, 2013; Cui *et al.*, 2018; Samal *et al.*, 2019; Li e Li, 2009). In ambiente marino le esperienze riportate in

letteratura sono molto limitate (Takavakoglou *et al.*, 2021), con esempi riguardanti il controllo dell'erosione, il supporto della rete alimentare, il miglioramento paesaggistico e il contenimento dei sedimenti (Pavlineri, *et al.* 2017; Shahid *et al.*, 2018; 2020; Gaballah *et al.*, 2021), ma anche l'uso per fitodepurazione e lo studio della diversità microbica associata ai EFB (Caldeiros *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2021) con evidenze significative del ruolo che i EFB, insieme ai batteri e a riempitivi adeguati, possono avere nella depurazione di corpi idrici eutrofici salmastri delle aree costiere (Liu *et al.*, 2021). Liu *et al.* (2021) hanno dimostrato che EFB insieme a riempitivi (rocce vulcaniche e zeoliti) e batteri, utilizzati in acque eutrofiche costiere, mostrano un'efficienza media di rimozione dell'azoto ammoniacale, dell'azoto totale, del fosforo totale, rispettivamente, del 81,9, 78,5, 53,7 %, rispettivamente. La maggior parte di questi nutrienti viene rimossa dai batteri, rispetto a quella rimossa da piante e filler (Liu *et al.*, 2021).

Impianto di fitodepurazione di IGF

La HDP, nell'ottica della ottimizzazione del funzionamento e dei costi di conduzione dei propri impianti in RAS e per la riduzione dell'impronta ambientale delle attività di produzione di pesci marini ha avviato una serie di attività di ricerca volte al miglioramento delle performance ambientali dei propri sistemi in RAS.

A esempio presso l'Avannotteria Agricola di Petrosino (TP) è in corso il secondo anno di una sperimentazione avviata per verificare le capacità depurative di specie di salicornia (*Salicornia emerici*) e sarcocornia (*Sarcocornia alpini*) autoctone. In considerazione della indisponibilità di superfici adeguate all'uso di sistemi di fitodepurazione estensivi basati sulle tecnologie classiche, nelle vasche inutilizzate dell'impianto e nel bacino di decantazione, è in corso una coltura sperimentale di salicornia e sarcocornia su vassoi galleggianti.

I risultati preliminari indicano che la salicornia e la sarcocornia possono essere coltivate in un sistema acquaponico, nei reflui provenienti dall'impianto di allevamento, utilizzando come supporto vassoi galleggianti di polimero a bassa densità, con rese di crescita molto interessanti (fig. 5-6).

		
Fig. 4 – Pannello galleggiante con <i>Sarcocornia alpini</i>, ottenuto presso l’impianto di produzione di novellame di pesci marini de L’Avannotteria Agricola, di Petrosino (TP). È evidente il notevole sviluppo dell’apparato radicale, accompagnato da uno sviluppo altrettanto rigoglioso della parte aerea	Fig. 5 – Giovani piante di <i>Salicornia emerici</i> coltivate in acquaponica su vassoio galleggiante presso l’impianto de L’Avannotteria Agricola, di Petrosino (TP).	Fig. 6 – Vassoio galleggiante piantumato con <i>S. emerici</i>, al suo secondo anno di produzione, presso l’impianto de L’Avannotteria Agricola, di Petrosino (TP).

Come riportato in letteratura per altre specie vegetali coltivate in acquaponica allo scopo di abbattere i nutrienti presenti nelle acque, anche per *S. emerici* e *S. alpini* la coltura in acquaponica, grazie alla notevole disponibilità di nutrienti, determina un significativo incremento della velocità di crescita, con un notevole sviluppo dell’apparato radicale (Fig, 7)

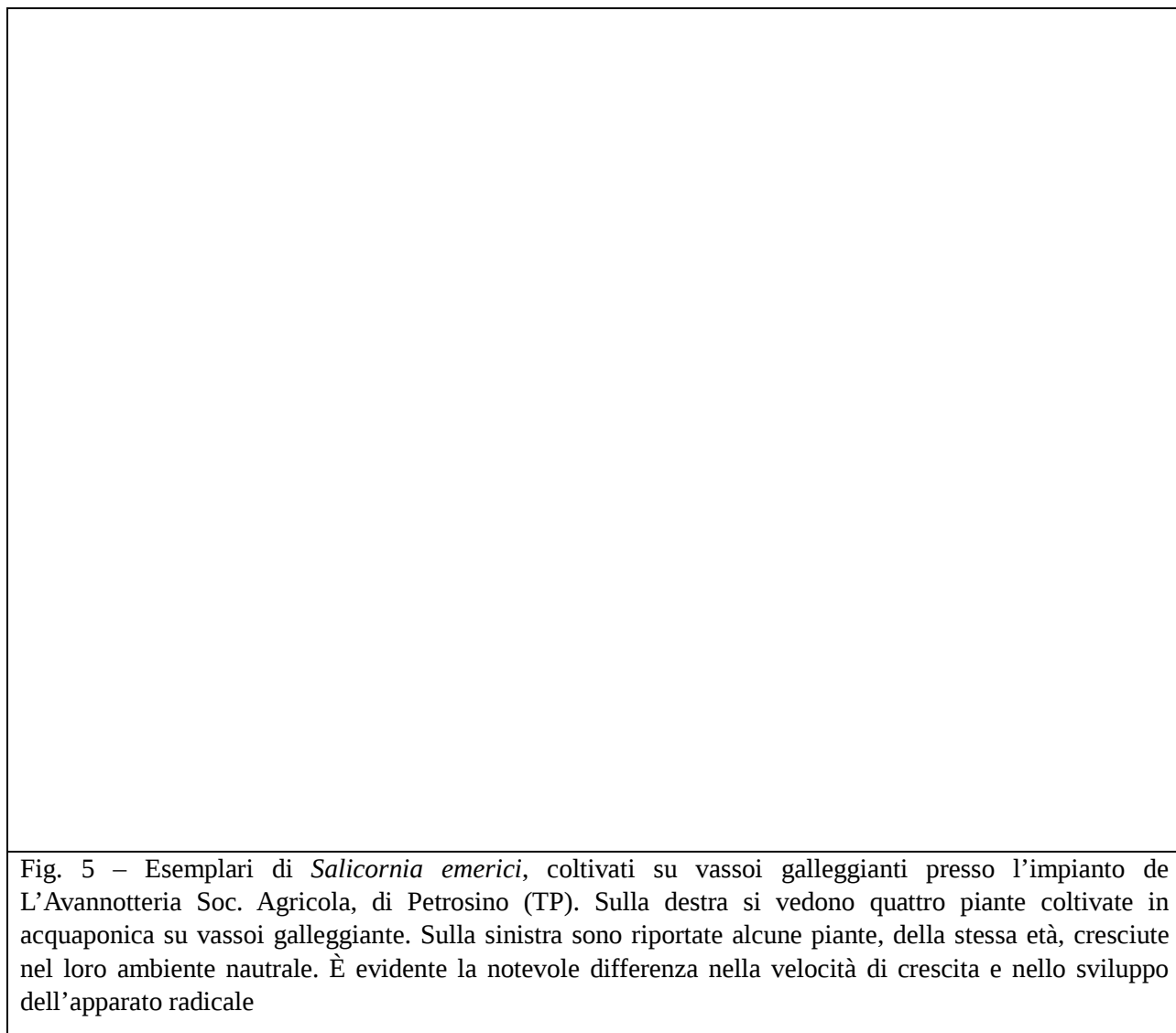


Fig. 5 – Esempolari di *Salicornia emerici*, coltivati su vassoi galleggianti presso l'impianto de L'Avannotteria Soc. Agricola, di Petrosino (TP). Sulla destra si vedono quattro piante coltivate in acquaponica su vassoi galleggiante. Sulla sinistra sono riportate alcune piante, della stessa età, cresciute nel loro ambiente naturale. È evidente la notevole differenza nella velocità di crescita e nello sviluppo dell'apparato radicale

Presso l'impianto di IGF, in corso di progettazione, verrà realizzato un sistema di trattamento che consentirà il rilascio di acque post processo produttivo totalmente depurate.

Per ottenere questo obiettivo, l'impianto prevede i tradizionali sistemi di depurazione idrica marini in grado di rendere i reflui idonei allo scarico a mare secondo le vigenti normative. Oltre a questo verrà realizzato un innovativo sistema di fitodepurazione destinato all'ulteriore abbattimento dei nitrati presenti nei reflui. Un bacino di ca 650 mq colonizzato da alofite su EFB e munito di sistemi di circolazione dell'acqua normalmente utilizzati nella bioremediation, verrà dedicato alla fitodepurazione.

Il sistema proposto prevede l'integrazione delle tecniche di fitodepurazione di acque provenienti da impianti di acquacoltura basate sull'uso di alofite quali salicornie e sarcocornie, già impiegate con successo per la depurazione di acque reflue di impianti di acquacoltura in RAS sia su substrato solido e galleggiante (con la tecnologia dei letti ecologici galleggianti, per la realizzazione di una zona umida galleggiante piantumata con salicornie (perenni) e sarcocornie (annuali).



Fig. 5 – Schema dell'impianto di depurazione

Bibliografia

- Alfheeaaid, H.A., Raheem, D., Ahmed, F., Alhodieb, F.S., Alsharari, Z.D., Alhaji, J.H., BinMowyna, M.N., Saraiva, A., Raposo, A., 2022. *Salicornia bigelovii*, *S. brachiata* and *S. herbacea*: Their Nutritional Characteristics and an Evaluation of Their Potential as Salt Substitutes. *Foods* 11, 3402. <https://doi.org/10.3390/foods11213402>
- Aquilino, F., Paradiso, A., Trani, R., Longo, C., Pierri, C., Corriero, G., de Pinto, M.C., 2020. *Chaetomorpha linum* in the bioremediation of aquaculture wastewater: Optimization of nutrient removal efficiency at the laboratory scale. *Aquaculture* 523. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735133>
- Badiola, M., Mendiola, D., Bostock, J., 2012. Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquac. Eng.* 51, 26–35.
- Barco A., S. Bona, M. Borin 2021. Plant species for floating treatment wetlands: a decade of experiments in North Italy, *Sc. Tot Environ. Times*, 751 (2021), Article 141666, 10.1016/j.scitotenv.2020.141666
- Barrington, K., Ridler, N., Chopin, T., Robinson, S., Robinson, B., 2010. Social aspects of the sustainability of integrated multi-trophic aquaculture. *Aquac. Int.* 18, 201–211.
- Bartucca M.L., T. Mimmo, S. Cesco, D. Del Buono, 2016. Nitrate removal from polluted water by using a vegetated floating system- *Sci Total Environ*, 542 (2016), pp. 803-808.
- Beyer, C.P., Gómez, S., Lara, G., Monsalve, J.P., Orellana, J., Hurtado, C.F., 2021. *Sarcocornia neei*: A novel halophyte species for bioremediation of marine aquaculture wastewater and production diversification in integrated systems. *Aquaculture* 543. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736971>
- Borin, M. & Maucieri, C., Mietto A., Pavan, F., Politeo M., Salvato M., Tamiazzo J., e Tocchetto, D., (2014). La fitodepurazione per il trattamento di acque di origine agricola e di reflui zootecnici. 10.13140/2.1.5081.9527.
- Buhmann A. e Papenbrock J., 2013. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives, *Environmental and Experimental Botany*, 92 , 122-133
- Calheiros, C.S.C.; Carecho, J.; Tomasino, M.P.; Almeida, C.M.R.; Mucha, A.P., 2020. Floating Wetland Islands Implementation and Biodiversity Assessment in a Port Marina. *Water*, 12, 3273.
- Campanati, C., Willer, D., Schubert, J., Aldridge, D.C., 2021. Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 30, 143–169. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>
- Cui, N., Chen, G., Liu, Y. et al. 2018. Comparison of two different ecological floating bio-reactors for pollution control in hyper-eutrophic freshwater. *Sci Rep* 8, 14306.
- Diaz, M.R., Araneda, J., Osses, A., Orellana, J., Gallardo, J.A., 2020. Efficiency of *Salicornia neei* to treat aquaculture effluent from a hypersaline and artificial wetland. *Agric.* 10, 1–11.
- El-Amier, Y.A., Soufan, W., Almutairi, K.F., Zaghloul, N.S., Abd-Elgawad, A.M., 2022. Proximate composition, bioactive compounds, and antioxidant potential of wild halophytes grown in coastal salt marsh habitats. *Molecules* 27.
- Fitzner, M., Fricke, A., Schreiner, M., Baldermann, S., 2021. Utilization of regional natural brines for the indoor cultivation of *Salicornia europaea*. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su132112105>
- Gaballah, M.S.; Ismail, K.; Aboagye, D.; Ismail, M.M.; Sobhi, M.; Stefanakis, A.I. 2021. Effect of design and operational parameters on nutrients and heavy metal removal in pilot floating treatment wetlands with *Eichhornia Crassipes* treating polluted lake water. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 28, 25664–25678.
- Gómez Suárez, S. & Beyer, Clemens & Lara, Gabriele & Monsalve, Juan & Orellana, Jaime & Hurtado, Felipe. (2021). *Sarcocornia neei*: A novel halophyte species for bioremediation of marine aquaculture wastewater and production diversification in integrated systems. *Aquaculture*, Volume 543, 15
- Guo Y., Y. Liu, G. Zeng, X. Hu, X. Li, D. Huang, Y. Liu, Y. Yin 2014. A restoration-promoting integrated floating bed and its experimental performance in eutrophication remediation. *J. Environ. Sci.*, 26 (5) (2014), pp. 1090-1098
- Knowler, D., Chopin, T., Martínez-Españeira, R., Neori, A., Nobre, A., Noce, A., Reid, G., 2020. The economics of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: where are we now and where do we need to go? *Rev. Aquac.* 12, 1579–1594.
- Kumwimba M.N., Huang J., Dzakpasu M., Ajibade T.O. et al., 2023. Enhanced nutrient removal in agro-industrial wastes-amended hybrid floating treatment wetlands treating real sewage: Laboratory microcosms to field-scale studies. *Chemosphere*, Volume 330, 138703.

- Li W. e Li Z., 2009. In situ nutrient removal from aquaculture wastewater by aquatic vegetable *Ipomoea aquatica* on floating beds. *Water Science & Technology*, 59(10), 1937
- Liu M., Chen M., Wu Y., Guo J., Sun P. and Zhang Z., 2021. Synergistic Action of Plants and Microorganism in Integrated Floating Bed on Eutrophic Brackish Water Purification in Coastal Estuary Areas. *Front. Mar. Sci.*, 8 - 2021
- Lopes, M., Sanches-Silva, A., Castilho, M., Cavaleiro, C., Ramos, F., 2021. Halophytes as source of bioactive phenolic compounds and their potential applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1–24. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1959295>
- Mansour, A.T., Ashour, M., Alprol, A.E., Alsaqufi, A.S., 2022. Aquatic Plants and Aquatic Animals in the Context of Sustainability: Cultivation Techniques, Integration, and Blue Revolution. *Sustainability* 14, 3257. <https://doi.org/10.3390/su14063257>
- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C., Heinsbroek, L.T., Schneider, O., Blancheton, J.P., Roque d'Orbcastel & Verreth, J. A. J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquac. Eng.* 43 (3), 83–93.
- Messina, C.M., Renda, G., Laudicella, V.A., Trepos, R., Fauchon, M., Hellio, C., Santulli, A., 2019. From ecology to biotechnology, study of the defense strategies of algae and halophytes (from trapani saltworks, NW sicily) with a focus on antioxidants and antimicrobial properties. *Int. J. Mol. Sci.* 20, 881. <https://doi.org/10.3390/ijms20040881>
- Milhazes-Cunha, H., Otero, A., 2017. Valorisation of aquaculture effluents with microalgae: The Integrated Multi-Trophic Aquaculture concept. *Algal Res.* 24, 416–424.
- Nguyen, L.N., Aditya, L., Vu, H.P., Hasan Jhir, A., Bennar, L., Ralph, P., Hoang, N.B., Zdarta, J., Long, Nghiem, D., 2022. Nutrient Removal by Algae-Based Wastewater Treatment. *Curr. Pollut. Reports* 8, 369–383.
- Pavlineri, N.; Shoulikidis, N.T.; Tsihrintzis, V.A. 2017. Constructed floating wetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chem. Eng. J.*, 308, 1120–1132.
- Quintã R., R. Santos, D.N. Thomas, L. Le Vay, 2015. Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater, *Chemosphere*, 120, 414-421
- Robaina L, Corraze G, Aguirre P, Blanc D, Melcion JP, Kaushik S (1999) Digestibility, postprandial ammonia excretion and selected plasma metabolites in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed pelleted or extruded diets with or without wheat gluten. *Aquaculture* 179:45–56.
- Shahid, M.J.; AL-surhane, A.A.; Kouadri, F.; Ali, S.; Nawaz, N.; Afzal, M.; Rizwan, M.; Ali, B.; Soliman, M.H. 2020. Role of Microorganisms in the Remediation of Wastewater in Floating Treatment Wetlands: A Review. *Sustainability*, 12, 5559.
- Shahid, M.J.; Arslan, M.; Ali, S.; Siddique, M.; Afzal, M. 2018. Floating Wetlands: A Sustainable Tool for Wastewater Treatment. *Clean–Soil Air Water*, 46, 1800120.
- Shpigel M., D. Ben-Ezra, L. Shauli, M. Sagi, Y. Ventura, T. Samocha, J.J. Lee, 2013. Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. *Aquac.* 412-413 (2013), pp. 52-63
- Song J., Q. Li, M. Dzakpasu, X.C. Wang, N. Chang 2020. Integrating stereo-elastic packing into ecological floating bed for enhanced denitrification in landscape water. *Bioresour. Technol.*, 299 (2020), Article 122601
- Spradlin and Saha, 2022 Saline aquaponics: a review of challenges, opportunities, components, and system design. *Aquac.*, 738173
- Takavakoglou, V.; Georgiadis, A.; Pana, E.; Georgiou, P.E.; Karpouzou, D.K.; Plakas, K.V. Screening Life Cycle Environmental Impacts and Assessing Economic Performance of Floating Wetlands for Marine Water Pollution Control. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 1345
- Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., Lecocq, T., 2021. When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biol. Rev.* 96, 767–784.
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., Fang, J.G., 2009. Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297, 1–9.
- Turcios, A.E. Papenbrock, J. Sustainable 2014. Treatment of Aquaculture Effluents—What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability* , 6, 836-856.
- van Rijn J, Tal Y, Schreier HJ (2006) Denitrification in recirculating systems: theory and applications. *Aquac Eng* 34:364–376

- van Rijn J., 2013. Waste treatment in recirculating aquaculture systems, *Aquacultural Engineering*, 53, 49-56,
- Waller, U., Buhmann, A.K., Ernst, A. et al., 2015. Integrated multi-trophic aquaculture in a zero-exchange recirculation aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production. *Aquacult Int* 23, 1473–1489.
- Wang W.H., Y. Wang, L.Q. Sun, Y.C. Zheng, J.C. Zhao, 2020. Research and application status of ecological floating bed in eutrophic landscape water restoration *Sci. Total Environ.*, 704 (2020), Article 135434
- Webb J.M., R. Quintã, S. Papadimitriou, L. Norman, M. Rigby, D.N. Thomas, L.L. Vay, 2012. Halophyte filter beds for treatment of saline wastewater from aquaculture *Water Res.*, 46, pp. 5102-5114,
- Webb, J. M.; Quinta, R.; Papadimitriou, S. et al., 2013. The effect of halophyte planting density on the efficiency of constructed wetlands for the treatment of wastewater from marine aquaculture. *Ecological Engineering*, Vol. 61, No. Part A, 12.2013, p. 145-153.
- Zhang, S.Y., Li, G., Wu, H.B., Liu, X.G., Yao, Y.H., Tao, L., Liu, H., 2011. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: the effects on water quality and fish production. *Aquac. Eng.* 45 (3), 93–102
- Zhao F., S. Xi, X. Yang, W. Yang, J. Li, B. Gu, Z. He, 2012. Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems. *Ecological Engineering*, 40, pp. 53-60.
- Samal K., Kar S., Trivedi S., 2019. Ecological floating bed (EFB) for decontamination of polluted water bodies: Design, mechanism and performance. *J. Environmental Management*, 251,109550,
- Deng Y, Ni F. Review of ecological floating bed restoration in polluted Water. *Journal of Water Resource and Protection*. 2013;05(12):1203-1209.