

# Trattamento delle acque reflue abitative:

## **soluzioni basate sulla natura integrabili negli edifici**



Dino Raffo

Marzo 2024





**Politecnico  
di Torino**

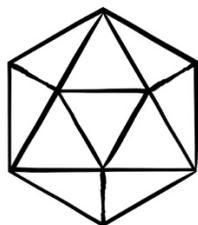
Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

*A.a. 2019/2020*

Tesi

**Trattamento delle acque reflue abitative:**

**soluzioni basate sulla natura  
integrabili negli edifici**



Relatore:

Paolo Piantanida

Candidato:

Dino Raffo

Questo testo viene dedicato a chi si è mai sentito partecipe e responsabile della co-creazione della realtà

A mio fratello gemello  
al gruppo di studio

a miei genitori  
a mia sorella  
a mio Angel

a mio Zio

mare

## Abstract

Questo elaborato si presenta con un **manuale tecnico** per la costruzione di Biofiltri, per il trattamento delle **acque reflue abitative**, a partire di soluzioni basate sulla natura già utilizzate da tempo per tutto il Pianeta.

Evidenzia i vantaggi di utilizzare questi sistemi in **edilizia** e fa capire il suo utilizzo a scala urbana ed industriale.

Si evidenziano le limitazioni di scegliere questo metodo di trattamento, e vengono proposte diverse **soluzioni**, per integrarli negli edifici esistenti. Si aggiunge la proposta di usare come additivo **EM**, una biotecnologia giapponese sorprendente.

Si commenta su altri casi in edilizia in cui **usare biotecnologia** per depurazione dell'acqua.

Si fanno **proposte architettoniche** che potenziano il messaggio.

E se finisce con una analisi filosofico dell'**importanza dell'acqua**.

---

## Indice

Abstract .....	3
Introduzione.....	5
1. Inquinanti.....	7
2. Zone Umide .....	8
3. Sistema.....	11
3.1. Sistema Primario .....	17
3.2. Sistema Secondario .....	21
3.3. Sistema Terziario.....	32
3.3.1. Riutilizzo dell'acqua.....	32
3.3.2. Infiltrazione.....	32
4. Limitazioni di Spazio e possibili Soluzioni.....	37
4.1. Fanghi Attivi .....	37
4.2. Tetti Verdi.....	38
5. Soluzioni a Grande Scala .....	40
6. Il vantaggio dell'utilizzo di EM.....	42
6.1. nel trattamento delle acque reflue .....	43
6.2. nella rigenerazione delle acque contaminate .....	44
7. Altre applicazioni della Tecnologia.....	46
6.1. BioPiscine .....	46
8. Integrazioni e Proposte Architettoniche .....	48
9. Alcune riflessioni sull'Acqua .....	54
Appendice .....	56
Bibliografia.....	58

## Introduzione

La mia motivazione a scrivere è quella di studiare e far conoscere un modo per pulire le acque. Che è il modo più efficiente, economico e intuitivo.

L'obiettivo è quello di ridurre l'impatto ambientale prodotto dalle acque reflue umane. Che l'acqua venga trattata correttamente prima di essere reimessa nel suo ciclo naturale. Per evitare di restituirla contaminata, incidendo così sul ciclo nel suo complesso. È un problema di mancanza di consapevolezza sociale, che coinvolge tutti noi a partire dal nostro elemento principale, l'Acqua.

Oggi si stima che solo il 20% delle nostre acque reflue vengano trattate correttamente prima di essere reimmesse nel suo ciclo naturale, e fino al 4% nei paesi in via di sviluppo,<sup>1</sup> secondo i parametri stabiliti dalle poche normative esistenti. Ciò significa che fino al 93% dell'acqua che utilizziamo viene restituita contaminata. Se consideriamo l'acqua domestica, con una media di 200 litri utilizzati per abitante al giorno, negli agglomerati più densi, diventa un problema ambientale con un impatto sull'acqua; e un notevole spreco di acque che, con un trattamento adeguato, può essere destinata a un secondo uso.

Questa è un'opportunità per trattare le nostre acque reflue su scala architettonica attraverso opere semplici, ispirate al potere di autodepurazione della natura, rispettando i tempi e gli spazi che essa richiede.

### Tecnologia

I responsabili della decomposizione e la chiusura del ciclo degli inquinanti presenti nelle nostre acque reflue sono principalmente agenti biologici. Microrganismi e piante che, lavorando insieme, riproducono i processi naturali più efficienti per questo compito. Combinando questa **biotecnologia con opere architettoniche e idrauliche semplici**, viene utilizzata nel modo più conveniente possibile. Potendo garantire, con semplici calcoli, i parametri degli inquinanti all'uscita del sistema.

Il sistema può essere suddiviso in 3 fasi o tipi di trattamento

#### Trattamento primario

Il trattamento delle acque reflue inizia con la dissoluzione e la diluizione del carico organico nell'acqua, compito svolto dai batteri anaerobici, che lavorano in assenza di ossigeno. Di conseguenza, è necessario costruire un contenitore a tenuta stagna e isolato dall'ossigeno, come una fossa settica convenzionale.

#### Trattamento secondario

Poi, per chiudere il ciclo degli inquinanti, dobbiamo trasformarli in qualcos'altro, ed è qui che abbiamo bisogno di batteri aerobici, che agiscono in presenza di ossigeno. Queste batterie si concentrano nella zona rizosferica e trasformano gli inquinanti in nutrienti per le piante. Questo viene fatto per mezzo di zone umide artificiali o biofiltri.

#### Trattamento terziario

L'acqua pulita passa in un sistema di infiltrazione nel terreno, come un pozzo perdente. Oppure può essere accumulata in una cisterna per essere riutilizzata.



# 1. Inquinanti

Le acque reflue abitative contengono diversi contaminanti che, di non essere trattati correttamente, possono affettare la nostra salute e la qualità dell'ambiente in cui abitiamo.

Tra questi contaminanti troviamo:

**Microorganismi patogeni:** come batteri, virus, parassiti, che causano malattie come l'epatite, colera, dissenteria, diarrea, giardiasi, ecc.

**Materia organica:** come materiale fecale, carta igienica, rifiuti alimentari, saponi e detersivi, che consuma ossigeno nell'acqua e produce cattivi odori.

**Nutrienti:** principalmente azoto e fosforo, che favoriscono la crescita eccessiva di alghe ed erbe acquatiche in corsi d'acqua, fiumi e lagune.

Altri contaminanti come oli, acidi, vernici, solventi, farmaci, ecc; che alterano il ciclo della vita acquatica.

La maggior difficoltà che abbiamo in relazione all'inquinamento dell'acqua dovuta alle acque reflue abitative è l'eccesso di nutrienti. Nelle acque reflue domestiche abbiamo un apporto di nutrienti sia dagli effluenti umani che dai detersivi utilizzati.

**L'eccesso di nutrienti** nell'acqua rappresenta un impatto soprattutto nei corpi idrici lenti, come laghi o corsi d'acqua con bassa portata, che produce un fenomeno comunemente chiamato **eutrofizzazione**, che è una risposta naturale a questo problema in cui si genera la riproduzione di alghe, come i **cianobatteri**, che significa un impatto ambientale, ma che a sua volta hanno la capacità di produrre microcistina, un'epatossina in grado di causare disturbi gastrointestinali a breve e lungo termine. Ciò comporta **un problema di salute pubblica**.

Questo eccesso di nutrienti non può essere eliminato dai sistemi di trattamento convenzionali.

Un esempio chiaro di questa problematica è la contaminazione dell'acqua dalla mia cara città di Córdoba, in Argentina, da cui il 70% dell'acqua potabile proviene del **Lago San Roque**, lago al cui arrivano le acque di tutta La Valle di Punilla, che sono un totale di 16 municipi e 9 comuni, ed è una zona montagnosa dove non ci sono grandi terre agricole o di allevamento, pertanto l'apporto di nutrienti sul lago sono principalmente dovute alle acque reflue abitative, in particolare gli scarichi della città di Villa Carlos Paz, una delle città più turistiche di Argentina, con una popolazione che si avvicina con gli ultimi anni ai 100 mila abitanti permanenti e che durante la stagione turistica si può quadruplicare. Città che si trova direttamente sul lato sud del lago.

La fioritura di cianobatteri sulla superficie del lago ha raggiunto livelli pari al 66% della superficie.



Figura 1. Valle di Punilla, Cordoba, Argentina. Google Maps.

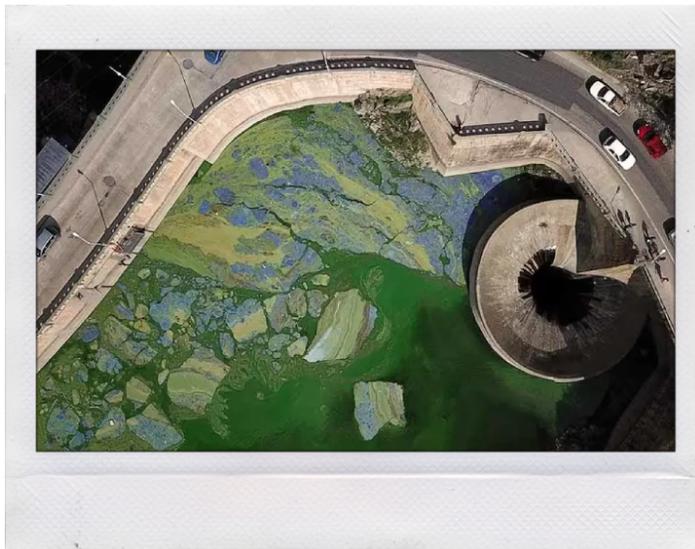


Fig. 2. Captazione d'acqua del lago San Roque, Argentina, marzo 2022. THE WAVE ORG.[7]

Dei parametri che si utilizzano per valutare la concentrazione di contaminanti presenti nelle nostre acque reflue ci sono i **coliformi**, principalmente di origine fecale, che sono patogeni e possono causare gravi malattie gastrointestinali se ingeriti, rappresentando un rischio per la salute pubblica. Inoltre, la crescita eccessiva di batteri coliformi può contribuire al fenomeno dell'eutrofizzazione, un processo che impoverisce l'ossigeno disciolto a causa dell'aumento dell'attività batterica.

Questo ci fa riflettere su un altro importante indicatore, ovvero il **BOD5** (Domanda di Ossigeno Biologico, su un periodo di 5 giorni), una misura della quantità di ossigeno disciolto necessaria ai microrganismi aerobici per decomporre la materia organica presente nell'acqua.

Per comprendere questo indicatore, dobbiamo pensare che l'acqua funzioni in modo analogo all'aria, immaginando migliaia di persone in uno spazio ristretto, tutte bisognose di ossigeno per respirare; quando l'ossigeno disciolto nell'aria si esaurisce, l'aria "soffoca" e, di conseguenza, anche le persone.

Lo stesso accade nell'acqua: maggiore è il carico organico presente nelle nostre acque, maggiore è la quantità di batteri che si nutrono di questo carico organico e si riproducono, batteri che richiedono ossigeno. E, quando si raggiunge il limite, l'acqua esaurisce di ossigeno (ipossia) e "muore" e, di conseguenza, tutta la vita acquatica.

Oltre al BOD5 abbiamo il **COD** (Domanda Chimica di Ossigeno), che copre questo effetto di una gamma più ampia di composti organici, sia biodegradabili che non biodegradabili.

Inoltre, dobbiamo tenere conto della quantità di **solidi sospesi** e di **grassi** ed oli nelle nostre acque reflue.

In generale, i parametri presenti nelle acque reflue domestiche, e quelli che utilizzeremo come punto di partenza, da ridurre nei nostri sistemi di trattamento, sono i seguenti:

Parametri	Unità	Valore Medio
Domanda di Ossigeno Biologica ( <b>BOD</b> )5	mg/l	<b>250</b>
Domanda Chimica di Ossigeno ( <b>COD</b> )	mg/l	500
Coliformi fecali	NMP/ 100ml	100.000
<b>Coliformi</b> totali	NMP/ 100ml	1.000.000
<b>Solidi</b> sedimentabili in 2 h.	ml/l	10
Oli e <b>grassi</b> (SSEE)	mg/l	100
<b>Fosforo</b> totale	mg/l	15
<b>Nitrogeno</b> totale	mg/l	60

Tabella 1 Parametri fisico-chimici e batteriologici degli effluenti. Valori adattati da Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF & EDDY, INC. [3]

Occorre inoltre tenere conto dei vari inquinanti emergenti.

Secondo quanto condiviso nel Rapporto mondiale sullo sviluppo idrico 2018 delle Nazioni Unite: Soluzioni basate sulla natura per la gestione dell'acqua:

"Tra i 118 farmaci monitorati negli afflussi e negli effluenti nei sistemi di trattamento delle acque reflue convenzionali, quasi la metà è stata rimossa solo parzialmente, con un'efficienza inferiore al 50% (UNESCO / HELCOM, 2017)". Gli studi hanno dimostrato che le zone umide costruite possono offrire una soluzione alternativa per la rimozione degli inquinanti emergenti dalle acque reflue domestiche e quindi integrare efficacemente i sistemi di trattamento delle acque reflue convenzionali. L'efficacia delle zone umide costruite nella rimozione di vari farmaci è stata dimostrata in Ucraina (Vystavna et al., 2017; UNESCO, di prossima pubblicazione) (Tabella 3.3), così come in altri studi pilota (Matamoros et al., 2009; Zhang et al., 2011) e su larga scala (Vymazal et al., 2017; Vystavna et al., 2017). Questi risultati suggeriscono che, per alcuni di questi inquinanti emergenti, le SbN funzionano meglio delle soluzioni grigie e in alcuni casi possono essere l'unica soluzione." [1]

È fondamentale capire che **il problema principale delle nostre acque reflue è l'eccesso di nutrienti, che sono dannosi per l'acqua ma benefici per le piante**, ed è qui che entrano in gioco le soluzioni basate sulla natura.

## 2. Zone Umide

Per pulire le nostre acque, è essenziale capire come la natura pulisce tutte le sue acque.

Se osserviamo i processi naturali che intervengono nei **reni del pianeta**, le zone umide, capiamo che i responsabili della decomposizione degli inquinanti presenti nell'acqua sono minuscoli organismi, chiamati insieme microrganismi, che in collaborazione con le piante acquatiche riescono a trasformare e chiudere il ciclo degli inquinanti.



Fig. 3. Zona Umida. THE WAVE ORG. [6]

Le zone umide sono complessi ecosistemi acquatici composti da vegetazione e da una diversità di specie, con microrganismi specificamente adattati a queste condizioni ambientali.

Forniscono un'ampia gamma di servizi ecosistemici, come la regolazione del ciclo dell'acqua, la protezione dalle inondazioni, la biodiversità, la filtrazione e la fissazione degli inquinanti. È in quest'ultimo caso che questi organismi insieme a processi fisici, chimici e biologici, **sono in grado di depurare l'acqua**, rimuovendo grandi quantità di inquinanti.

L'elevata capacità depurativa delle zone umide viene sfruttata nella progettazione di impianti in grado di riprodurre le caratteristiche di questi ecosistemi e di applicarle al trattamento delle acque reflue.

Il ruolo dell'ingegnere o dell'architetto sarà quindi quello di coadiuvante, che attraverso semplici opere architettoniche e idrauliche, crea i canali che permettono lo sviluppo di questi microrganismi nel modo più efficiente possibile.

Le **zone umide costruite** sono soluzioni basate sulla **natura**, in cui vengono ricreate determinate condizioni simili alle zone umide naturali, utilizzando processi di fitorimediazione o **fitodepurazione** per pulire le nostre acque.

Anche chiamati biofiltri, sono sistemi progettati per imitare le caratteristiche e i processi (fisici, chimici e biologici) di una zona umida naturale.

Le zone umide artificiali, come le zone umide naturali, possono ridurre un'ampia gamma di inquinanti dell'acqua, quali:

- ~ solidi sospesi,
- ~ BOD,
- ~ COD,
- ~ nutrienti, come fosforo e nitrogeno,
- ~ metalli,
- ~ agenti patogeni e
- ~ altre sostanze chimiche.

La rimozione avviene attraverso una serie di processi, tra cui

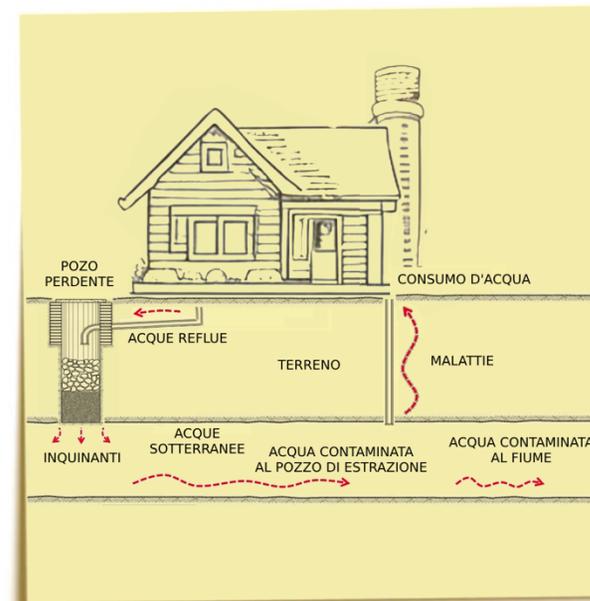
- ~ sedimentazione,
- ~ filtrazione,
- ~ metabolismo microbico (aerobico e anaerobico),
- ~ assorbimento e respirazione delle piante.

La differenza principale tra una zona umida naturale e una zona umida artificiale è che quest'ultima consente il **trattamento delle acque reflue** in base a disegni che si basano su specifici obiettivi di **qualità** degli effluenti.

Le zone umide costruite sono utilizzate come sistemi di trattamento secondario delle acque reflue.

La realizzazione di questi sistemi di trattamento secondario **è essenziale per raggiungere i parametri di scarico raccomandati dalle normative**, in modo da non avere un impatto negativo sui corpi idrici vicini. In primo luogo, quello delle falde acquifere sotterranee, da cui prendiamo l'acqua per uso personale.

Più la falda acquifera è vicina alla superficie, maggiore è il rischio di contaminazione se restituiamo le nostre acque reflue senza un trattamento corretto.



Disegno 1. Contaminazione delle nostre acque sotterranee. (Dall'autore)

Le zone umide sono sistemi secondari in **un sistema completo di tre fasi**, accompagnato da un trattamento primario essenziale per rimuovere i solidi e da un sistema terziario di infiltrazione o di accumulo dell'acqua per il riutilizzo.

I principali **vantaggi** delle zone umide sono:

- Presentano evidenti vantaggi **economici**, con bassi costi di costruzione e manutenzione e un consumo energetico minimo o nullo.
- Hanno eccellenti prestazioni di **depurazione**, soprattutto per parametri come BOD, COD, solidi sospesi, carica batterica e nutrienti come nitrogeno e fosforo.
- **Funzionamento** semplice.
- **Ossigenazione** ottimale dell'acqua trattata.
- Ottima integrazione paesaggistica.
- **Riqualificazione ambientale** delle aree degradate.
- Opportunità di **riutilizzare l'acqua** trattata e la biomassa, sviluppando la logica del **riciclaggio**, chiudendo il ciclo dei nutrienti
- Possibilità di costruzione modulare per fasi di crescita.
- Soluzione ottimale per portate idrauliche variabili.

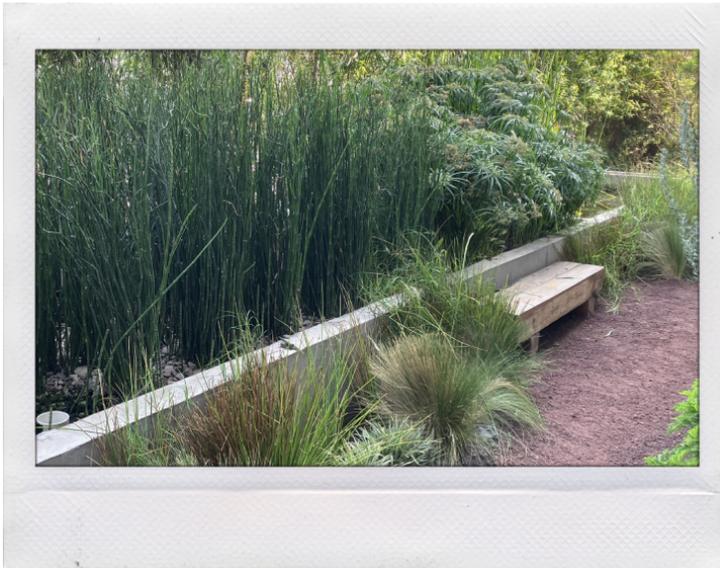


Fig. 4. Zona umida di tipo sub-superficiale combinata con una zona umida di tipo superficiale, con finitura in calcestruzzo a vista. TIM [4]

Il loro principale **svantaggio** è che richiedono una **superficie** maggiore rispetto ad altri sistemi.

Questo è il principale fattore economico da considerare. Confrontando il prezzo al metro quadro, insieme ai costi di costruzione e manutenzione. Analizzare questi ultimi a medio e lungo termine, tenendo conto della vita utile di questi sistemi.

In generale, **una zona umida artificiale risulta sempre più economica**. Sia in termini di investimento iniziale che di analisi economica nel corso della vita utile di questi sistemi.

È soprattutto la facilità di manutenzione che rende questo tipo di soluzione così interessante. Rispetto alla difficoltà e agli alti costi di manutenzione di altri sistemi, come i fanghi attivi.

Le zone umide costruite sono **soluzioni ottimali**. È sempre consigliabile optare per questa soluzione, nella misura in cui le condizioni del progetto lo consentano.



Fig. 5. Zona umida di tipo sub-superficiale combinata con una zona umida di tipo superficiale, con finitura in calcestruzzo a vista. TIM [4]

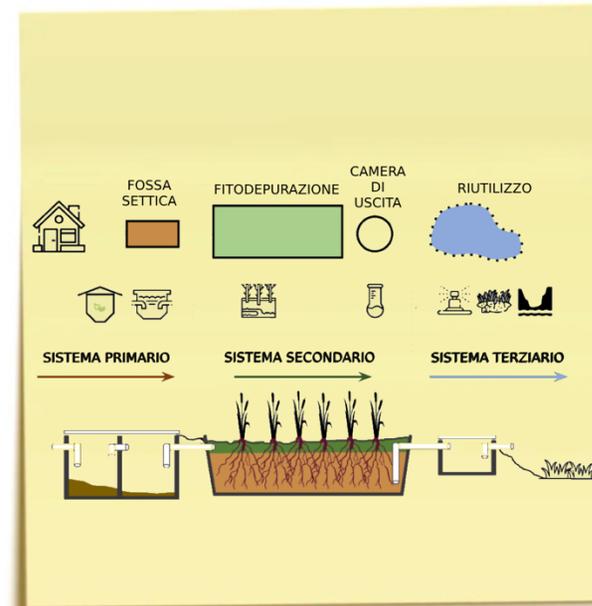
### 3. Sistema

Quando parliamo di un sistema di trattamento, ci riferiamo a una somma di componenti che insieme forniranno una **soluzione al problema**. Per ognuno di questi componenti, ci saranno diverse alternative tecnicamente e ambientalmente valide, sviluppando quelle che, secondo i criteri dell'autore, sono le più appropriate, in modo che il risultato sia sostenibile.

Cosa si intende per sostenibile?

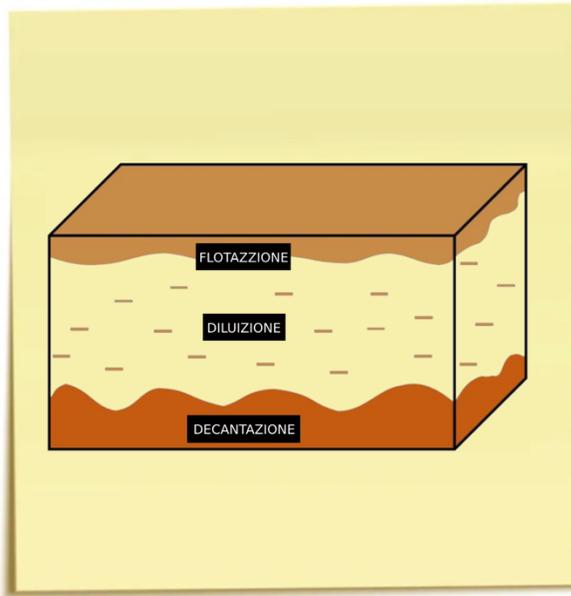
- ~ **Adeguati all'ambiente**: devono utilizzare risorse rinnovabili e non superare la capacità di carico degli ecosistemi in cui sono inserite.
- ~ **Adeguati alla loro funzione**: devono risolvere il problema in questione in modo efficace ed efficiente.
- ~ **Appropriati per le persone**: devono essere **a basso costo**, facili da usare e mantenere, semplici da capire e riproducibili su scala locale.

Il sistema sarà composto da **tre componenti** ben definiti, che realizzano processi di trattamento diversi in ogni fase.



Diseg. 2. Sistema di Trattamento. (Dall'autore)

Da un punto di vista fisico, le sostanze che influenzano lo stato naturale dell'acqua nell'effluente possono essere presentate come segue: **sostanze che flottano, sostanze che si depositano, sostanze che si diluiscono.**



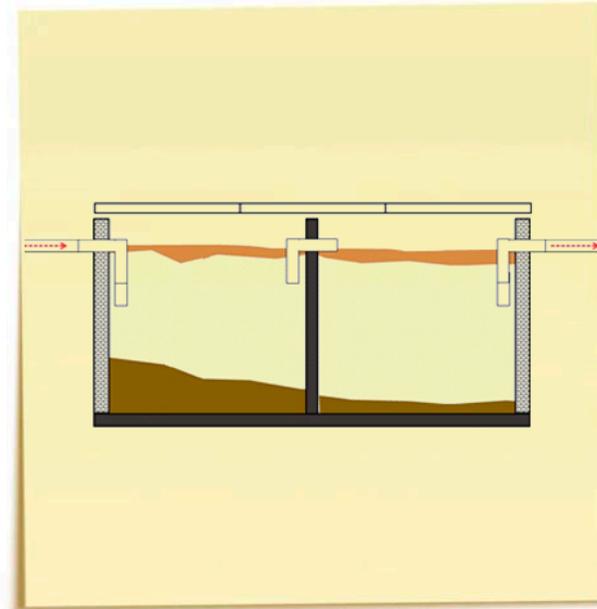
Diseg. 3 Stato degli inquinanti nell'effluente.

Per trattare correttamente l'effluente, in questi tre stati delle sostanze, avremo bisogno di sistemi diversi.

### Sistema Primario

Il trattamento delle acque reflue **inizia**, prima dell'ingresso nella zona umida, con la dissoluzione e la **diluzione della materia organica** nell'acqua, compito svolto dai **batteri anaerobici** nelle camere settiche (**sistema primario**), un sistema di camere di un certo volume isolate dall'ossigeno.

Una parte degli inquinanti solidi si deposita in questa prima fase, ma una gran parte è ancora disciolta nell'acqua, ed è fino a questo punto che il trattamento generalmente finisce, perché l'assenza di solidi di grandi dimensioni significa che i sistemi di infiltrazione terziari non sono otturati.



Diseg. 4. Camere Settiche (Sistema Primario)

Ogni sistema di trattamento primario anaerobico **genera un rifiuto sotto forma di fango**, che si deposita sul fondo. La rimozione di questi fanghi fa **parte della manutenzione** di questi sistemi. Nel caso delle fosse settiche, questa rimozione viene effettuata in un periodo che va dai 2 ai 5 anni, a seconda delle dimensioni delle camere settiche, dell'uso dell'acqua nel sistema e l'utilizzo di aditivi che migliorano la degradazione dei fanghi.

Un altro sistema di trattamento primario ampiamente utilizzato è il biodigestore commerciale, che realizza un trattamento primario analogo a quello delle camere settiche.

La differenza sta soprattutto nel sistema di rimozione dei fanghi, che avviene manualmente e con maggiore frequenza.

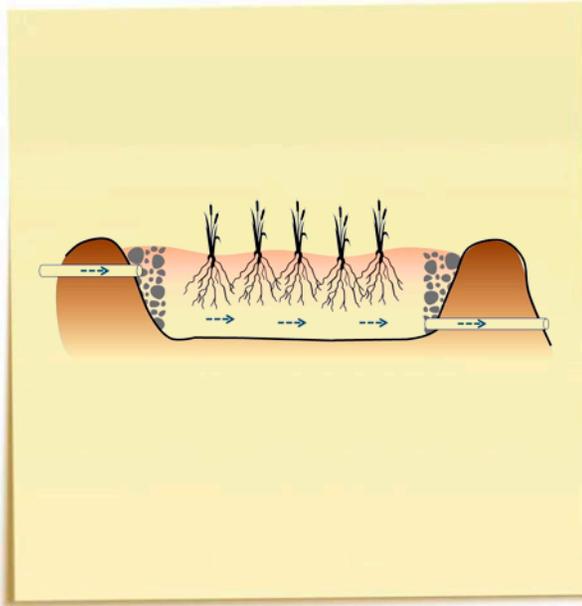
Nei nostri progetti, per motivi economici e di progettazione, optiamo sempre per le camere settiche.

**È fondamentale capire che gran parte degli inquinanti rimangono disciolti nell'acqua**, in quantità che non rispettano i parametri stabiliti dalle normative.

Per rimuovere gli inquinanti dall'acqua è necessario trasformarli in qualcos'altro, ed è qui che sono necessari i sistemi secondari.

In questo caso, ciò che è dannoso per l'acqua è buono per le piante.

## Sistema Secondario



Diseg. 5. Zona umida artificiale a flusso Subsuperficiale

Il sistema secondario è responsabile della **chiusura del ciclo della materia organica** diluita, per mezzo di una zona umida artificiale, o **biofiltro**.

Concettualmente, l'effluente viene fatto circolare attraverso un mezzo granulare che agisce come un **filtro molto efficiente**, che intercetta tutti i solidi che non sono stati trattenuti nel sistema primario e supporta le piante che prendono i nutrienti presenti nell'effluente e li utilizzano per la loro crescita, generando **biomassa**.

Le zone umide artificiali, oltre a generare una **degradazione ottimale della materia organica** disciolta nell'acqua a livello fisico e biologico, riducono al minimo la proliferazione e la sopravvivenza di microrganismi patogeni attraverso la competizione con altri microrganismi benefici (batteri, lieviti, funghi e protozoi) che sopravvivono **grazie all'ossigeno immesso dalle piante attraverso le loro radici**, per azione della radiazione solare che attiva i processi di fotosintesi, insieme alle reazioni di ossidazione nella rizosfera. Con questa tecnica, **l'acqua viene trattata fino a raggiungere caratteristiche simili a quelle naturali**.

I batteri predominanti nelle zone umide sono i **batteri facoltativi**, che possono vivere con e senza la presenza di ossigeno, e i **batteri aerobici**, che hanno bisogno di ossigeno per sopravvivere. Sono **responsabili della trasformazione degli inquinanti in nutrienti per le piante**.



Fig. 6. Zona umida di casa unifamiliare in Bosque Pequeño, con pianta carrizo.  
Ing. Fernando Raffo.

In questo modo, **gli inquinanti finiscono trasformati in piante**, mentre **l'acqua passa pulita al suo ciclo naturale**, a un sistema di infiltrazione terziario o a un sistema di riutilizzo.

## Sistema terziario

Una volta trattate le nostre acque reflue, è il momento di vedere dove indirizzarle. A questo scopo, abbiamo diverse opzioni tra cui scegliere.

### Riutilizzo dell'acqua trattata

Da un lato, possiamo riutilizzare l'acqua trattata per l'irrigazione di aree verdi o per altri usi. Ciò può avvenire in diversi modi, in modo automatico o manuale da parte del personale di manutenzione. A seconda della quantità di acqua e degli spazi verdi da irrigare, viene progettato il sistema di riutilizzo.

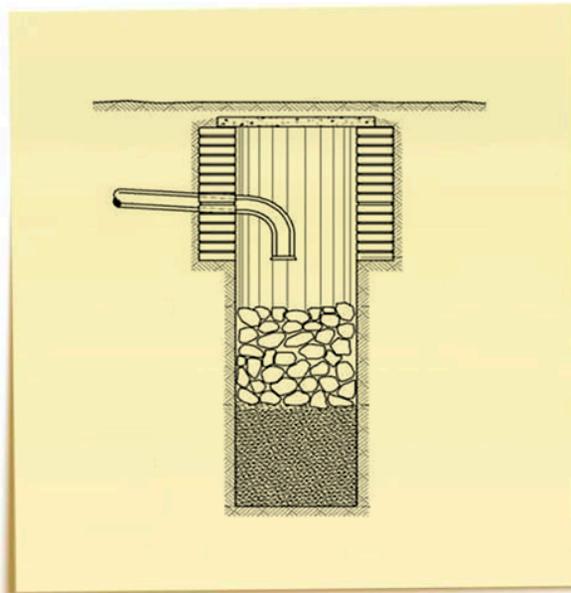
È sempre consigliabile che questi sistemi abbiano uno sfioratore che indirizzi l'acqua verso un sistema di infiltrazione per sì l'acqua trattata non viene utilizzata dal tutto.

### Sistema di infiltrazione

Questi sistemi infiltrano l'acqua trattata nel terreno. Ciò avviene per mezzo di una superficie interposta tra il sistema e il terreno, attraverso la quale il suolo può assorbire l'acqua.

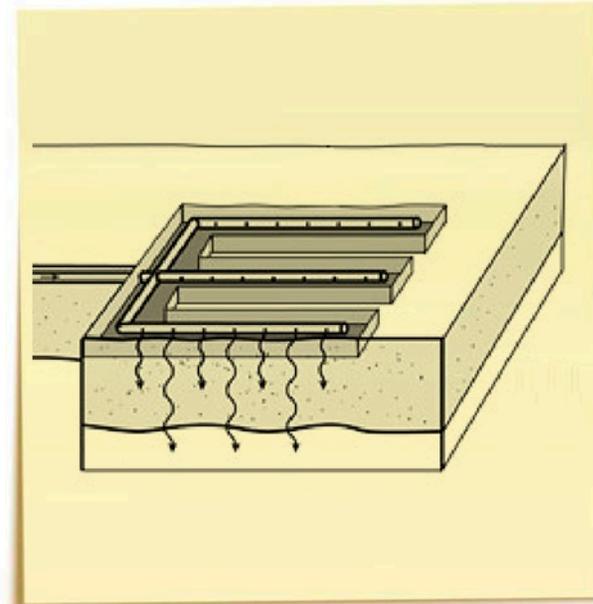
Per un corretto dimensionamento del sistema, è necessario effettuare uno studio per analizzare la capacità di assorbimento del terreno.

Questi sistemi si materializzano attraverso pozzi di assorbimento, che sono perforazioni cilindriche nel terreno con un diametro e una profondità determinati dalla quantità di acqua da trattare e dalla capacità di assorbimento del terreno.



Diseg. 6. Pozzo di infiltrazione (sistema terziario)

Oppure per mezzo di canali di infiltrazione



Diseg. 7. Canali di Infiltrazione (sistema terziario)

Nei casi in cui si disponga di una distanza prudente dalle acque sotterranee e non si riutilizzi l'acqua trattata, **la scelta di un sistema di infiltrazione può ridurre le dimensioni del sistema di trattamento secondario**. Le normative ambientali che regolano lo scarico delle acque richiedono valori di inquinanti diversi per il riutilizzo (o scarico diretto) o per il reintegro tramite infiltrazione.

## Progettazione

Per la progettazione del sistema, il parametro di calcolo idraulico sarà la portata, espressa in litri di **effluente generato per abitante dell'abitazione al giorno**.

Questo valore sarà fissato a **225 litri/giorno** e si riferisce alla fornitura di acqua potabile suggerita dall'OMS di 200-250 litri per abitante al giorno. In nessun caso può essere inferiore a 600 litri/giorno per abitazione.

È inoltre importante conoscere la caratterizzazione fisico-chimica e batteriologica delle acque reflue domestiche. La tabella del primo capitolo elenca una serie di parametri con i loro valori medi espressi nelle unità corrispondenti, che ci aiuteranno a confrontare **gli obiettivi di trattamento richiesti per non fare un impatto negativo sull'acqua**.

Parametri	Unità	Valore Medio
Domanda di Ossigeno Biologica (BOD) <sub>5</sub>	mg/l	250
Domanda Chimica di Ossigeno (COD)	mg/l	500
Coliformi fecali	NMP/ 100ml	100.000
Coliformi totali	NMP/ 100ml	1.000.000
Solidi sedimentabili in 2 h.	ml/l	10
Oli e grassi (SSEE)	mg/l	100
Fosforo totale	mg/l	15
Nitrogeno totale	mg/l	60

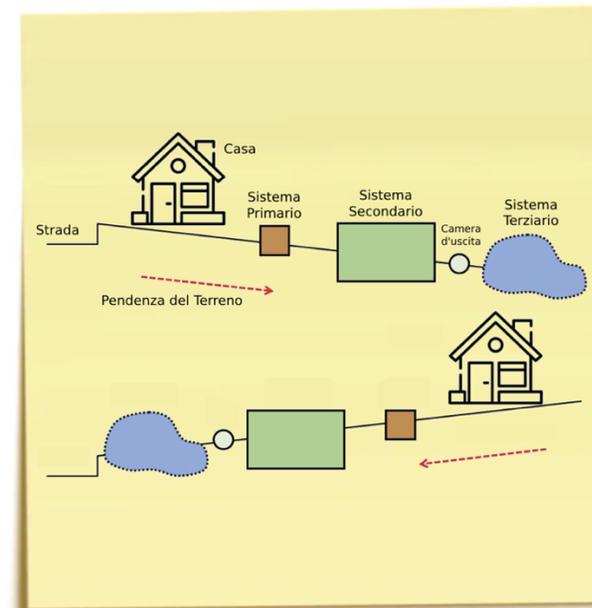
Tabella 1 Parametri fisico-chimici e batteriologici degli effluenti. Valori adattati da Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF & EDDY, INC. [3]

Sommate alle portate di disegno per le acque reflue abitative, si collegano nell'appendice le portate ad utilizzare per i diversi casi di costruzioni architettoniche, casi come uffici, hotel, ristoranti, bar, cinema, ecc.

## Ubicazione Generale

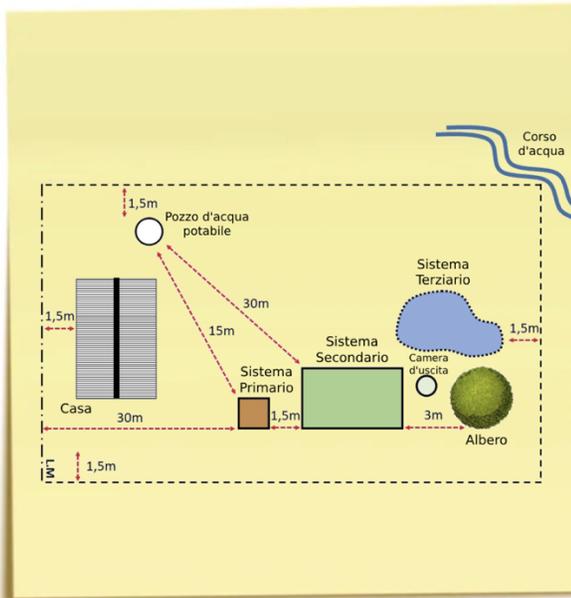
Tali sistemi possono essere collocati in modi diversi, con i componenti insieme o separatamente, a seconda della forma e del livello del terreno, della posizione dell'abitazione, delle limitazioni stabilite dai regolamenti locali, come le distanze dagli assi divisorii, gli arretramenti frontali, ecc.

Come criterio generale, si raccomanda di collocare i sistemi **nella parte più bassa** del terreno, in modo che possano funzionare per gravità senza bisogno di pompe. Occorre fare attenzione che il deflusso superficiale (acqua piovana) non si infiltri o non oltrepassi all'interno dei componenti del sistema.



Diseg. 8. Posizione dei diversi componenti del sistema rispetto all'edilizia.

Il sistema primario dovrebbe essere collocato il più vicino possibile all'abitazione per evitare tubature molto lunghe, dato che l'effluente crudo ha un alto contenuto di solidi che possono depositarsi. Occorre tenere presente che questi sistemi richiedono una manutenzione annuale e quindi è necessario portare un veicolo (camion di aspirazione) per rimuovere i fanghi. A tal fine, è necessario lasciare libero un corridoio di tre metri di larghezza, o comunque a non più di 30 metri dalla strada, che è la distanza che di solito raggiungono i tubi dei camion di aspirazione.



Diseg. 9. Posizione in pianta dei diversi componenti del sistema rispetto al lotto.

Si consiglia di rispettare le distanze indicate nella seguente tabella.

DISTANZE MINIME DI SICUREZZA CONSIGLIATE		
DISTANZA DA:	CAMERA SETTICA	SISTEMA DI INFILTRAZIONE
Edificazione	1,50 metri	1,50 metri
Confine di proprietà	1,50 metri	1,50 metri
Grandi alberi	3,00 metri	1,50 metri
Strade e sentieri	1,50 metri	1,50 metri
Linea comunale massima (camion di aspirazione)	30 metri	1,50 metri
Corso d'acqua esistente	10 metri	1,50 metri
Pozzo di acqua potabile	20 metri	1,50 metri

Tabella 2. Valori adattati degli standard di studio, criteri di progettazione e presentazione dei progetti di collettori di acque reflue. Ordinanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.[2]



## Dimensionamento

Nel dimensionamento delle camere settiche, il parametro di calcolo utilizzato è il tempo di ritenzione idraulica (HRT), che garantisce un tempo di ritenzione di almeno 24 ore della portata di progetto. A tal fine, **il volume** utile del sistema deve essere uguale o superiore alla portata giornaliera.

Questo valore fissato a **225 litri/giorno.persona** e si riferisce all'apporto di acqua potabile suggerito dall'OMS di 200-250 litri per abitante al giorno. In nessun caso può essere inferiore a 600 litri/giorno per abitazione familiare. Questo tempo è stimato sulla base del raggiungimento dell'obiettivo di trattamento previsto e del fatto che i processi biologici di degradazione anaerobica possano svilupparsi normalmente, oltre a garantire un volume di ritenzione dei fanghi che consenta una frequenza di pulizia di almeno un anno.

A tal fine, considerando una famiglia tipica di quattro persone con un tasso di 225 l/persona x 4 persone, si ottiene un volume utilizzabile di 900 litri.

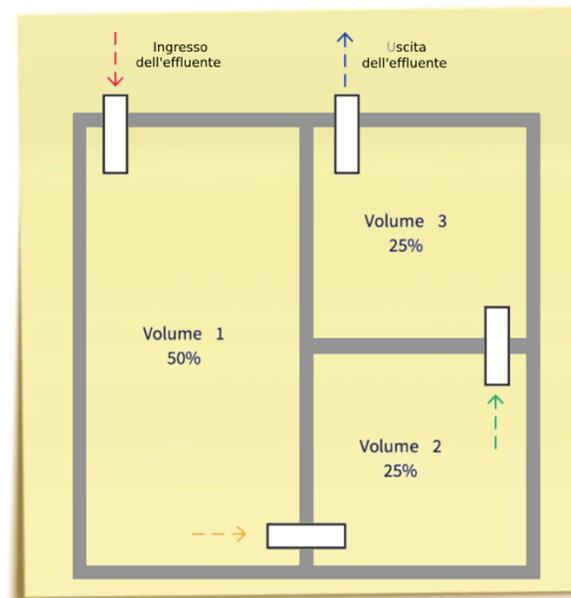
La distribuzione dei volumi nelle camere triple è la seguente:

Volume 1: 50 %;  
Volume 2: 25 %;  
Volume 3: 25 %.

Questa distribuzione è dovuta al fatto che **la prima camera è quella in cui si deposita la maggior quantità di solidi** e per questo motivo **occupa il 50%** del volume totale necessario, in modo che la frequenza di pulizia sia la più alta possibile.

Per quanto riguarda il numero di scomparti il minimo è due, ma se ne consigliano tre per migliorare l'efficienza del trattamento.

L'impianto può essere presentato in forma quadrata o rettangolare, a seconda dell'utilizzo di uno o dell'altro design, dello spazio disponibile e del collegamento con gli altri componenti del sistema.



Diseg. 9. Camere Settiche (Sistema Primario)

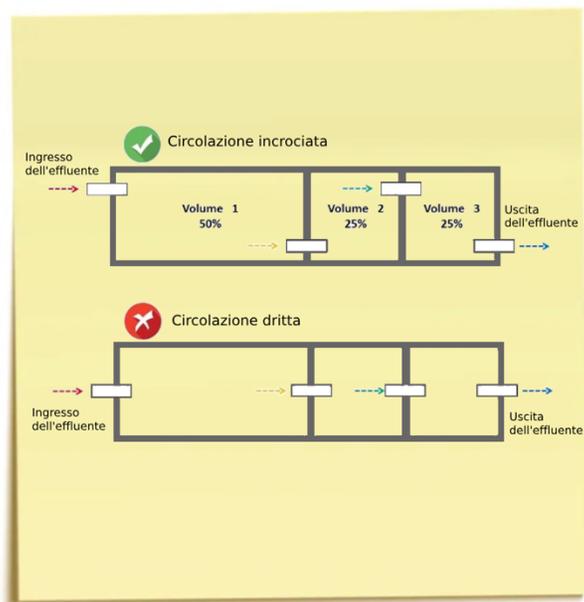
Descrizione	Le quantità
Volume utile	225 litri/persona
Volume utile minimo	800 litri
Numero di scomparti	Da 2 a 3
Profondità dell'acqua (battente)	Minimo 0,90 m
Connessione	Tubi in PVC 110 mm (minimo)

Tabella 3. Raccomandazioni per la progettazione di sistemi primari. Ordinanza n. 131/2022. Colon, Entre Rios, Argentina. [2]

I tubi di ingresso e di uscita di ogni scomparto devono essere realizzati in modo **trasversale per sfruttare al meglio il volume disponibile**, generando una circolazione del liquido il più possibile uniforme. I tubi di ingresso e di uscita non devono essere in contrasto tra loro.

Per garantire il corretto funzionamento del sistema, **il battente dell'acqua deve essere fissato a 90 cm (come minimo)** per le camere monofamiliari da 1000 a 1500 litri. Questa altezza è legata a questioni di costruzione e manutenzione, poiché profondità maggiori sono più complesse da costruire e profondità minori accorciano la frequenza di pulizia da 6 mesi a 1 anno.

Per le camere più grandi, ad esempio nei villaggi turistici, questa profondità può essere adattata, consigliando un'altezza compresa tra 1,20 m e 1,50 m.



Diseg. 10. Camere Settiche (Sistema Primario)

## Materializzazione

### Materiali

La possibilità di costruire fosse settiche in **muratura** ci permette di realizzare uno stadio in base a ogni situazione, e a costi contenuti.

### Rivestimento

Come ogni camera costruita in muratura (blocchi di cemento, mattoni da campo, calcestruzzo), deve essere rivestita con **intonaco impermeabile** o vernice epossidica per garantire l'impermeabilità del liquido.

A seconda del materiale scelto e delle dimensioni della camera, si dovranno analizzare le soluzioni tecnologiche più appropriate.

Nel caso di camere di grandi dimensioni, si possono utilizzare pareti divisorie in cemento armato con struttura in rete d'acciaio.

### Tubazioni

Il tubo di ingresso di una fossa settica familiare dovrebbe essere in **PVC di 110 mm** di diametro con una pendenza compresa **tra l'1 e il 3%** per ottimizzare il trasporto della miscela solido-liquida dall'uscita delle WC. Pendenze più basse o più elevate e diametri dei tubi più piccoli potrebbero causare intasamenti dovuti al deposito di solidi nel tempo. L'altezza dei gomiti è pari a 1/3 del battente. Per fissare i gomiti, si raccomanda di utilizzare viti autoperforanti zincate come misura di sicurezza per evitare che si allentino.

### Copertura

La fossa settica viene chiusa con un coperchio robusto, solitamente in **cemento armato**, per consentire il transito di persone sopra di essa, ben identificate. A seconda del progetto, la camera può essere interrata da uno strato di terra e solo un coperchio di ispezione è visibile per la pulizia; in altri casi i coperchi sono costruiti in loco in sezioni e sono visibili.

Per evitare l'ingresso di insetti nella camera o la generazione di odori, si può utilizzare una malta di calce e sabbia per riempire gli spazi tra le pareti e la copertura, che può essere facilmente rimossa quando la copertura viene rimossa per la pulizia.

## Manutenzione

Come in tutti i processi biologici anaerobici, si generano fanghi che si depositano sul fondo delle camere, che devono essere rimossi dopo un certo periodo di tempo, altrimenti il volume utile del sistema, e quindi la sua efficienza, diminuiscono.

L'intervallo di tempo tra una pulizia e l'altra dipende dall'uso, ma si consiglia una frequenza massima **di 1-2 anni**.

Per quanto riguarda il periodo migliore per effettuarla, è **la primavera**, poiché l'aumento della temperatura favorisce la riproduzione dei batteri.

Un fatto da **tenere in considerazione è l'uso eccessivo di prodotti per la pulizia** a base di cloro o simili per l'eliminazione dei batteri patogeni, perché oltre a eliminare questi batteri, succede qualcosa di simile anche ai batteri benefici che sono responsabili della degradazione della materia organica e si trovano all'interno del sistema di trattamento. Per questo motivo è importante tenere sempre presente l'uso razionale dei prodotti per la pulizia della casa e **sostituirli**, quando possibile, **con prodotti biodegradabili**.

Un modo per migliorare le prestazioni delle camere, soprattutto quando si percepiscono odori sgradevoli, è quello di **seminare microrganismi efficaci** che sono disponibili con diversi nomi commerciali e possono essere presentati in soluzioni liquide o in polvere.

## Rendimenti

In base alla bibliografia e all'esperienza dell'autore e dei professionisti a lui vicini, si può osservare che le prestazioni depurative più elevate della camera settica si riscontrano nella rimozione degli **agenti patogeni** (80%) e dei **solidi sospesi** (60%), mentre per il carico organico le prestazioni sono medie e **per i nutrienti sono molto basse**.

Nonostante le buone prestazioni raggiunte per alcuni parametri, questo sistema da solo **non è sufficiente** a soddisfare gli standard richiesti dalla normativa, il che dimostra che è necessario un secondo step per raggiungere gli obiettivi di trattamento richiesti.

Parametri	Condizioni di progettazione	Rendimenti %	Ingresso nel sistema secondario
BOD5 (mg/l)	250	50	125
Solidi totali ST (mg/l)	720	45	396
Solidi sospesi SS (mg/l)	220	60	88
Nitrogeno totale (mg/l)	40	50	20
Fosforo totale (mg/l)	8	50	4
Coliformi totali (NPP/100 ml)	1.000.000	80	200.000

Tabella 4. Rendimenti del sistema primario. Ing. Fernando Raffo.

## Alternative commerciali

Sul mercato esistono varie proposte tecniche con materiali diversi.

Da un lato, ci sono **camere settiche in calcestruzzo prestampate** con diverse geometrie, in cui è necessario verificare le dimensioni per verificare se soddisfano i requisiti delle norme di riferimento e l'esistenza di compartimenti (almeno due), che consentono la separazione di solidi e grassi.

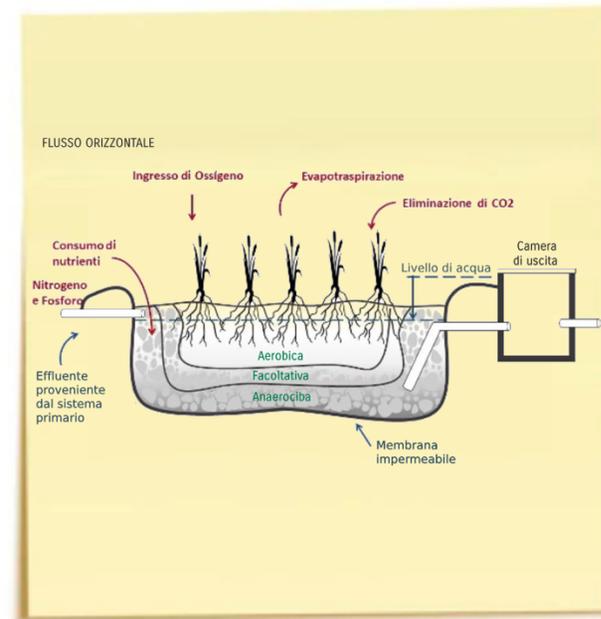
I più diffusi sono i **digestori**, che sono cilindri di materiale plastico con fondo conico e che in alcuni modelli hanno disegni diversi che permettono la separazione dei fanghi e forniscono una maggiore superficie di contatto per i microrganismi che degradano la sostanza organica.

Ma anche se vengono promossi come sistema integrale, le loro prestazioni depurative sono vicine a quelle dichiarate per le camere settiche compartimentate, motivo per cui vengono concettualmente collocati all'interno del **sistema di trattamento primario**.

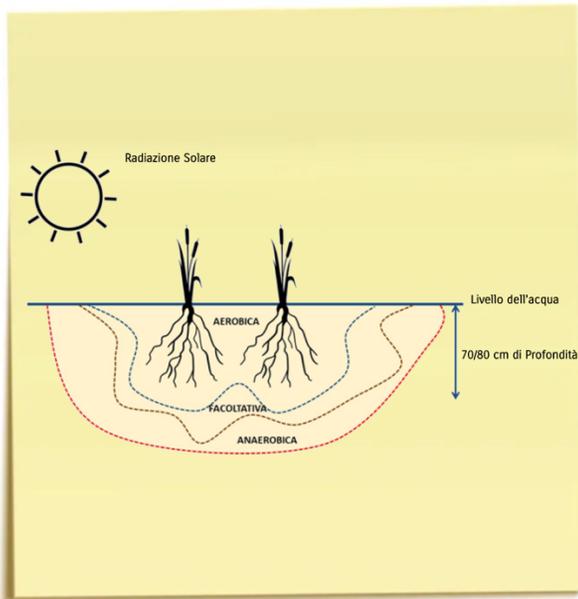
Il loro principale vantaggio è la rapidità di installazione, ma il costo iniziale dell'apparecchiatura e la sua manutenzione nel tempo devono essere valutati dagli utenti.

### 3.2. Sistema Secondario

I batteri predominanti nelle zone umide sono i **batteri facoltativi**, che possono vivere con e senza la presenza di ossigeno, e i **batteri aerobici**, che hanno bisogno di ossigeno per sopravvivere. Non è consigliabile avere zone anaerobiche nella zona umida perché non contribuiscono al trattamento, essendo la fase primaria quella in cui predominano questi batteri.



Diseg. 11. Processi fisico-chimici e biologici all'interno di una zona umida



Diseg. 12. Influenza della profondità sullo sviluppo dei batteri facoltativi.

### Zona umida a flusso subsuperficiale

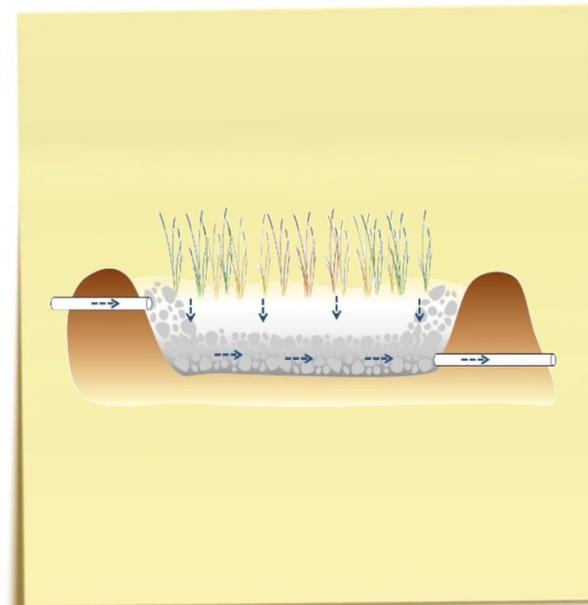
Esistono diversi tipi di zone umide costruite, a seconda della configurazione dell'alimentazione, del movimento dell'acqua all'interno della zona umida e del tipo di materiale di riempimento. Quello suggerito in questa tesi è il di tipo subsuperficiale.

In questa zona umida, il flusso di liquido è generalmente nascosto alla vista da 5-10 cm di pietre, che presenta vantaggi come l'**assenza di odori**, nessuna possibilità di riproduzione insetti come **le zanzare** e la possibilità di circolare sopra, anche non è consigliato.

Il movimento dell'acqua all'interno della zona umida può essere distinto in **flusso verticale e orizzontale**.

La zona umida **a flusso verticale** viene utilizzata quando c'è un dislivello tra l'uscita della camera settica e l'ingresso della stessa di almeno 2 metri, dove un dispositivo di tipo sifone può essere collocato nell'ultimo scomparto della camera settica per produrre uno scarico in pressione.

Il caso più comune è quello in cui il livello di uscita della fossa settica è ben al di sotto del livello naturale del terreno, per cui è necessario installare nell'ultimo scomparto una pompa per le acque reflue che consenta il passaggio dei solidi e aspiri l'effluente per inviarlo al tubo di ingresso. All'uscita della pompa, oltre all'installazione di doppi raccordi per poter sostituire l'apparecchiatura senza dover smontare l'impianto, viene installata una valvola di non ritorno per mantenere pieno il tubo di scarico.



Diseg. 13. Movimento dei liquidi all'interno della zona umida a flusso verticale.

Il filtro è assemblato in modo diverso rispetto ai sistemi orizzontali, con le pietre più grandi posizionate nella parte superiore e inferiore del filtro. Il vantaggio è che la distribuzione dell'effluente nella zona umida è uniforme in tutta l'area disponibile. **Il rapporto geometrico tra larghezza e lunghezza non è significativo** e può essere quadrato o circolare.

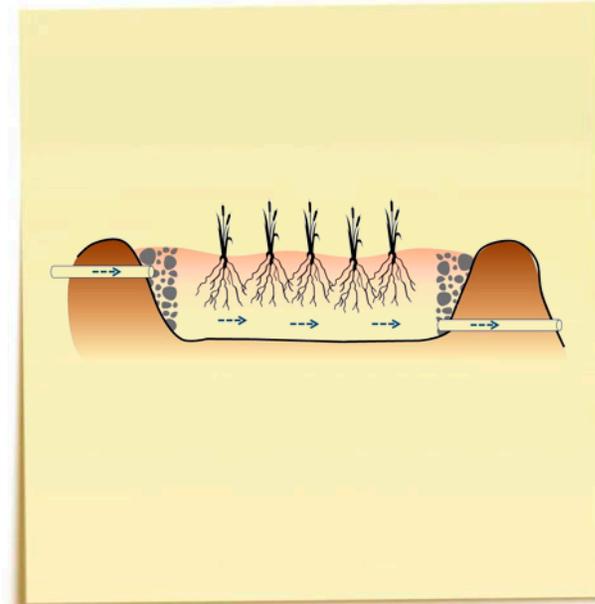


Fig. 7. Vista della prova idraulica del tubo di ingresso, poi ricoperto con 10 cm di pietre. Ing. Fernando Raffo



Fig. 8. Vista del tubo di uscita, dove i tubi devono essere collegati in modo da lavorare a pressione atmosferica per evitare tenute idrauliche che ostacolano il drenaggio della zona umida. Ing. Fernando Raffo.

La zona umida a **flusso orizzontale** è la più comunemente utilizzata, in quanto è la più semplice da costruire e gestire. I filtri sono assemblati perpendicolarmente alla direzione del flusso dell'effluente, sia per i tubi di ingresso che per quelli di uscita.



Diseg. 14 Movimento dei liquidi nella zona umida a flusso orizzontale.

In questo tipo di sistema, l'acqua circola orizzontalmente attraverso il terreno granulare e le radici delle piante. L'acqua entra nel sistema nella parte superiore di un'estremità e viene raccolta da un tubo di drenaggio nella parte inferiore opposta. La profondità dell'acqua è compresa tra 0,3 e 0,9 m. Sono caratterizzate dall'essere permanentemente inondate.

## Dimensionamento

### Teoria

Per il dimensionamento della zona umida, si tiene conto delle seguenti considerazioni: **portata** di progetto, **tempo di residenza idraulica** e **obiettivi di trattamento**.

I sistemi di zone umide artificiali possono essere considerati come reattori biologici e le loro prestazioni possono essere stimati utilizzando una cinetica del primo ordine per flusso a pistone per la rimozione del DBO e del nitrogeno. I modelli di progettazione presentati sono quelli suggeriti da Sherwood C. Reed nel suo libro "Natural Systems for Waste Management and Treatment". [6]

Tutti i modelli di progettazione attualmente utilizzati assumono condizioni uniformi di flusso a pistone e inoltre non vi sono restrizioni per il contatto tra i costituenti delle acque reflue e gli organismi responsabili del trattamento.

Di seguito è riportata l'equazione di base per i flussi a pistone:

$$C_e/C_o = e^{-KT \cdot t'} \quad (1)$$

Dove:

C<sub>e</sub>: Concentrazione del contaminante nell'effluente (mg/l)

C<sub>o</sub>: Concentrazione del contaminante nell'affluente (mg/l)

KT: Costante di reazione del primo ordine dipendente dalla temperatura (d-1)

t': Tempo di ritenzione idraulica degli spazi interstiziali (giorno)

Il tempo di ritenzione idraulica nel biofiltro, basato sulla porosità del mezzo o il tempo di detenzione nei vuoti interstiziali, può essere calcolato con la seguente espressione:

$$t' = \frac{n \cdot h \cdot A_s}{Q} \quad (2)$$

Dove:

n: Porosità.

h: Profondità della zona umida (m).

A<sub>s</sub>: Area superficiale del wetland (m<sup>2</sup>).

Q: Portata media attraverso il wetland (m<sup>3</sup>/giorno)

Può essere necessario calcolare la portata media utilizzando l'espressione precedente, per compensare le perdite o i guadagni d'acqua causati da filtrazioni o precipitazioni lungo il flusso dell'acqua reflua attraverso il biofiltro. Un progetto conservativo dovrebbe assumere che non vi siano perdite per filtrazione e adottare una stima ragionevole delle perdite per evapotraspirazione e dei guadagni per pioggia dai dati storici del luogo, per ogni mese di funzionamento. Ciò richiede una prima supposizione dell'area superficiale della zona umida per poter calcolare l'acqua in eccesso che entra o esce. È generalmente ragionevole, per una progettazione preliminare, supporre che le portate in ingresso e in uscita siano uguali.

È quindi possibile determinare l'area superficiale del biofiltro combinando le equazioni (1) e (2):

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln C_e/C_o}{n \cdot h \cdot KT} \quad (3)$$

Il valore di per le equazioni (1) e (3) dipende dal contaminante che si desidera eliminare, nel caso delle acque reflue domestiche la DBO e i nutrienti, e dalla temperatura.

Poiché le reazioni biologiche del trattamento dipendono dalla temperatura, è necessario, per un buon progetto, stimare la temperatura dell'acqua nel biofiltro. Nelle zone umide di tipo subsuperficiale in climi molto freddi sono protetti dalla formazione di ghiaccio nel sistema, non così nelle zone umide a flusso superficiale.

Il disegno idraulico di una zona umida artificiale è cruciale per il successo delle sue prestazioni.

Il flusso attraverso il biofiltro deve superare la resistenza per attrito del sistema stesso. Questa resistenza è imposta dal filtro di aggregati, dalle radici delle piante e dai solidi accumulati. L'energia necessaria per superare questa resistenza è data dalla perdita di carico tra l'ingresso e l'uscita del sistema. La soluzione migliore in termini di costruzione è fornire al biofiltro un fondo con una pendenza sufficiente per consentire il flusso, di solito con una pendenza del 1%.

Il rapporto lunghezza-larghezza ha una grande influenza sul regime idraulico e sulla resistenza al flusso del sistema. In teoria, grandi rapporti lunghezza/larghezza di 10:1 o superiori garantirebbero un flusso a pistone, ma hanno l'inconveniente che nella parte superiore si verificano traboccamenti a causa dell'aumento della resistenza al flusso causato dall'accumulo di residui vegetali, principalmente nei sistemi di flusso SubSuperficiale. Pertanto, rapporti di 1:1 fino a circa 3:1 o 4:1 sono accettabili.

Il tempo di detenzione reale è funzione della conducibilità idraulica del mezzo e della lunghezza del deposito, una relazione che può essere espressa nel seguente modo:

$$t = \frac{L}{k_s \cdot S} \quad (4)$$

Dove:

L: Lunghezza del deposito (m).

k<sub>s</sub>: Conducibilità idraulica di un'unità di area del wetland perpendicolare alla direzione del flusso (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/giorno)

S: Pendenza del deposito (m/m)

Nella tabella 5 (Metcalf & Eddy) vengono indicate le caratteristiche dei aggregati normalmente utilizzati nei sistemi a flusso subsuperficiale. Si raccomanda cautela nell'applicare qualsiasi delle equazioni appena proposte, poiché sono state derivate da dati di funzionamento di un numero limitato di sistemi. I valori di progettazione di tutti i parametri devono rientrare negli intervalli proposti dalla seguente tabella, e si consiglia di condurre studi in scala pilota prima di affrontare la progettazione di sistemi di grandi dimensioni.

Tipo de materiale	Granulometria massima (10%)	Porosità, n	Conducibilità idraulica, Ks (m3/m2/giorno)	K20°C
Sabbia media	1	0,30	420	1,84
Sabbia grossa	2	0,32	480	1,35
Sabbia ghiaiosa	8	0,35	500	0,86

Tabella 5. Caratteristiche tipiche dei substrati di una zona umida subsuperficiale (Metcalf & Eddy).[3]

La progettazione della zona umida deve essere tale da garantire che i tempi di ritenzione idraulica nei vuoti interstiziali siano conformi al tempo di ritenzione reale, in funzione della conducibilità idraulica, in modo che non esistano problemi e che sia garantito il flusso degli effluenti.

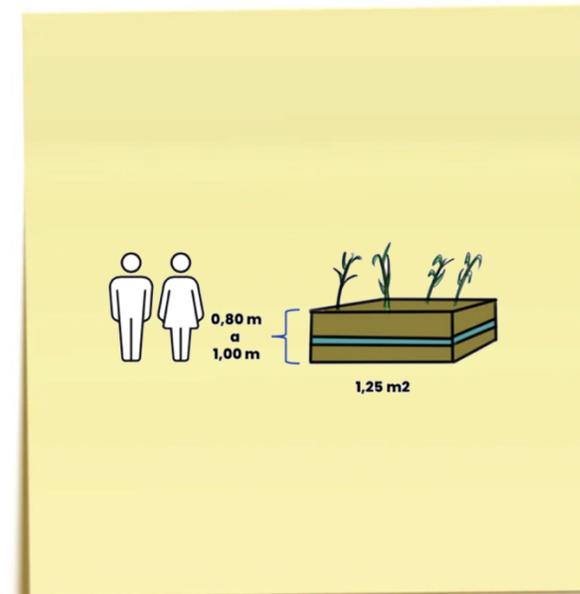
Come nei sistemi di irrigazione superficiale, il carico di BOD delle zone umide costruite deve essere limitato in modo che la richiesta di ossigeno delle acque reflue applicate non superi la capacità di trasferimento di ossigeno della vegetazione nel sistema. Questo aspetto deve essere preso in considerazione per gli effluenti industriali, mentre nel nostro caso per gli effluenti domestici non sarà un problema.

### Pratica

Ai fini del dimensionamento delle acque reflue domestiche si possono adottare i valori espressi nella seguente tabella:

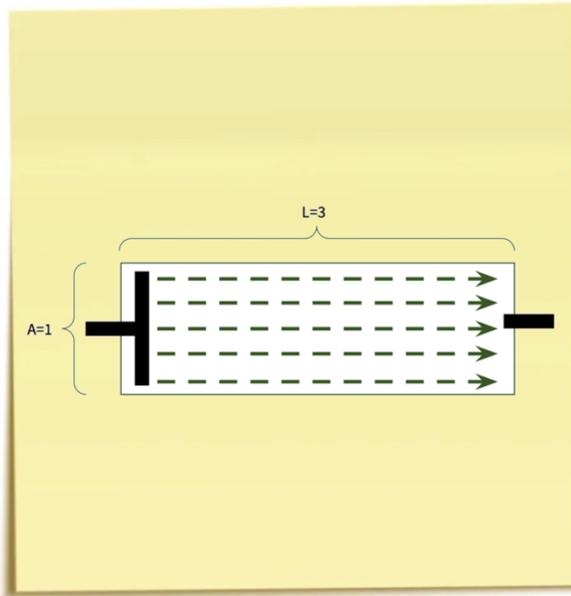
Parametro	Raccomandazione
Superficie	1,25 m <sup>2</sup> a persona
Superficie minima	4 m <sup>2</sup>
Profondità	0,8 m – 1,0 m
Ripieni	Pietra e Sabbia
Vegetazione	Palustre: Carrizo ( <i>Phragmites australis</i> ) Vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> ) in ragione di 4-5 piante per metro quadrato

Tabella 6. Raccomandazioni per la progettazione di sistemi secondari. Ordinanza n. 131/2022, Colon, Entre Rios, Argentina. [2]



Diseg. 15. Superficie Biofiltro a persona.

La superficie della zona umida deve essere il più possibile rettangolare in un rapporto 1:2 o 1:3 (larghezza - lunghezza) per ottenere una maggiore efficienza in termini di progettazione idraulica, ma a seconda della superficie del terreno o del sito disponibile può avere altri rapporti o anche forme più organiche. L'importante è garantire un flusso trasversale e utilizzare l'intero volume utile della zona umida.



Diseg. 16. Rapporti adeguati tra larghezza e lunghezza per le zone umide subsuperficiali di flusso orizzontale.

## Materializzazione

### Scavo e isolamento

La prima fase consiste nello scavare la fossa dove verrà costruita la zona umida secondo il progetto. Questo scavo può essere fatto manualmente o con una macchina, in genere minipale con retroescavatore e caricatore frontale.

In alcuni casi, quando il progetto integra la fossa settica e la zona umida, viene effettuato un unico scavo con profondità diverse.

L'isolamento deve garantire la tenuta all'acqua, per la quale si possono utilizzare **membrane plastiche in PVC** o HDPE, seguendo le raccomandazioni dei produttori per quanto riguarda le precauzioni da adottare nella loro installazione e i metodi di giunzione. Gli spessori consigliati vanno da 500 a 1000 micron (da 0,5 a 1 mm rispettivamente). Se il terreno presenta irregolarità che potrebbero danneggiare la membrana, si suggerisce di posizionare uno strato di reinterro di sabbia di circa 5 cm sul fondo dello scavo per protezione meccanica e per livellare il fondo della zona umida.

La pendenza del fondo è dell'1% (1 cm/metro), essendo il punto più alto in corrispondenza del tubo di ingresso e il punto più basso in corrispondenza del tubo di uscita.

Un'altra opzione è quella di costruire la zona umida con blocchi di **muratura o mattoni con intonaco impermeabile**, in modo simile alle fosse settiche. Questa soluzione è più praticabile quando si utilizzano progetti compatti che integrano il sistema primario con quello secondario.



Fig. 9. Scavo manuale per una zona umida unifamiliare. Ing. Fernando Raffo



Fig. 11. Esempio di Biofiltro a muratura o mattoni. Ing. Fernando Raffo



Fig. 10. Scavo a macchina per una zona umida più grande. Ing. Fernando Raffo



Fig. 12. Esempio di impermeabilizzazione con membrane. Ing. German Raffo

### Distribuzione degli aggregati

Entrambi i **tubi di ingresso e di uscita** devono essere **ricoperti con l'aggregato più grande** utilizzato, in modo da garantire una buona circolazione degli effluenti e ridurre al minimo le ostruzioni.

**Gli aggregati devono essere puliti** prima di essere collocati, per garantire una migliore durata del sistema. Nel caso in cui il fornitore non offra aggregati puliti, questi devono essere puliti in loco con acqua pressurizzata.

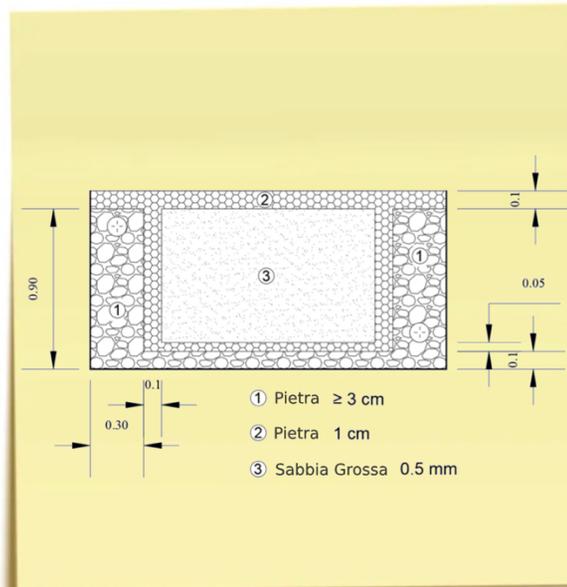
**La scelta degli aggregati sarà fatta in base alla disponibilità** nell'area in cui si eseguono i lavori, evitando il trasporto estensivo che aumenterebbe i costi.

Nel caso in cui non si riesca a reperire sabbia sufficientemente grossa, si consiglia di utilizzare un aggregato lapideo, **evitando sempre la sabbia fine**, che con il tempo finisce per impedire il corretto passaggio del flusso, riducendo così la vita utile dell'impianto.

Per facilitare il posizionamento degli aggregati, si utilizzano tavole di separazione che vengono rimosse man mano che gli aggregati vengono posizionati.

Quando sono necessarie zone umide di maggiori dimensioni o con esigenze di flusso concentrato in tempi brevi, ad esempio per l'utilizzo di docce all'ingresso di attività industriali, è necessaria una diversa selezione di aggregati per affrontare questo problema, sostituendo la sabbia con pietra fine e poi con pietre più grandi.

Sebbene questa soluzione sacrifichi l'efficienza di filtrazione, migliora il funzionamento idraulico delle zone umide e riduce la probabilità di intasamento.



Diseg. 17. Distribuzione degli aggregati per i sistemi unifamiliari.



Fig. 13. Vista del riempimento di aggregati in una zona umida di tipo familiare, che mostra il posizionamento dei pannelli separatori, il tubo di ingresso, le connessioni del tubo di uscita e il riempimento di pietre sul fondo. Ing. Fernando Raffa

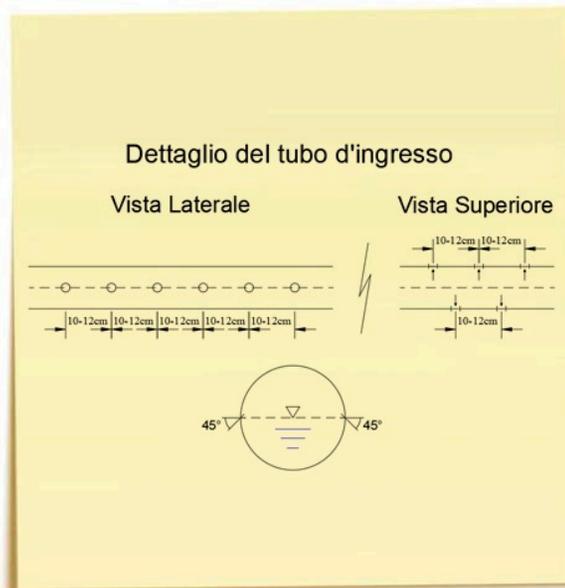


Fig. 14. Vista del riempimento di aggregati in una zona umida compatta, che mostra il posizionamento dei pannelli di separazione, il tubo di scarico e la sua ventilazione, che in questo caso è di 160 mm. Manca il rivestimento finale con pietra. Ing. Fernando Raffa

### Tubo di ingresso

Il tubo di ingresso è situato lungo tutta la lunghezza del bordo di ingresso a un'altezza tale che l'asse del tubo si trova a circa 15-20 centimetri sotto la superficie degli aggregati. Questo tubo sarà perforato sui lati, nell'asse del tubo, con una distanza di 10-12 centimetri tra loro. Le perforazioni hanno un diametro di 10 mm e sono fatti con un angolo di 45° verso il basso.

Il tubo deve essere perfettamente in orizzontale per garantire che il liquido in entrata sia distribuito uniformemente lungo tutta la sua lunghezza. All'estremità del tubo di ingresso viene posto un tappo cieco.



Diseg. 18. Dettaglio del tubo di ingresso.

### Tubo di uscita

Il tubo di uscita della zona umida deve essere situato lungo l'intera lunghezza del lato opposto a quello di ingresso, a un'altezza tale che l'asse del tubo si trovi a 20 centimetri sopra la superficie del fondo della zona umida. Questo tubo deve essere collegato da due gomiti. Uno solleva l'effluente al livello della camera di uscita e l'altro si collega alla ventilazione del sistema, che si estende al di sopra della superficie.

Il tubo di scarico sarà perforato in modo casuale su tutta la superficie con una distanza di circa 2,5 cm tra le perforazioni. Tali perforazioni avranno un diametro di 10 mm. Per garantire che nessun aggregato sottodimensionato entri in questo tubo, è ricoperto da un geotessuto tipo ombreggiante.



Fig. 15. Tubo di uscita prima di essere ricoperto con geotessuto. Ing. Fernando Raffo

### Piantazione di vegetazione

Dopo circa 30 giorni di funzionamento della zona umida, le specie palustri selezionate saranno collocate nella zona umida. A tal fine, le piante saranno tolte dai vasi se sono state acquistate in un vivaio o se sono state portate da una zona umida naturale, saranno a radice nuda. In entrambi i casi saranno pulite accuratamente, evitando l'ingresso nella zona umida di materiale fine come argilla o limo.

La densità è stimata in 4-5 piante di canna o vetiver per metro quadrato di zona umida, per cui nelle zone umide di medie o grandi dimensioni si dovrà realizzare una griglia con fili per garantire questa distribuzione.

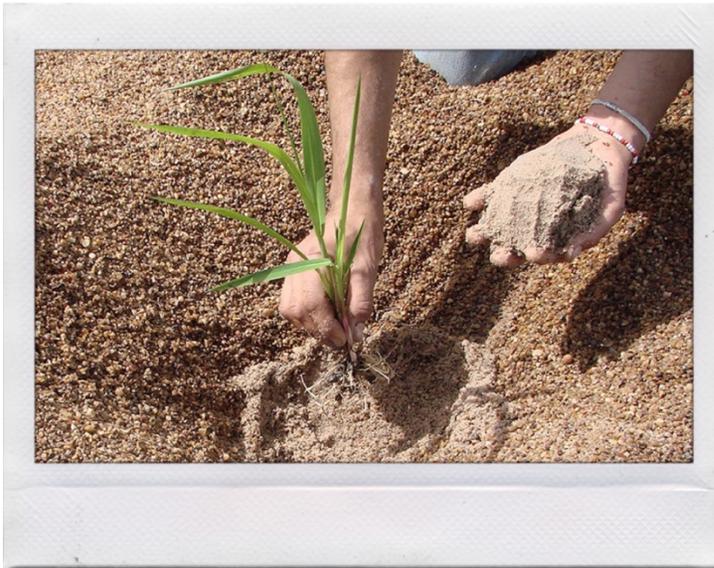


Fig. 16. Vista della piantazione di canneti in una zona umida. Ing. Fernando Raffo

### Manutenzione

Si deve garantire che il deflusso superficiale (acqua piovana) non entri nel sistema; pertanto, deve essere creato un terrapieno di protezione alto almeno 20 centimetri rispetto al livello naturale del terreno.

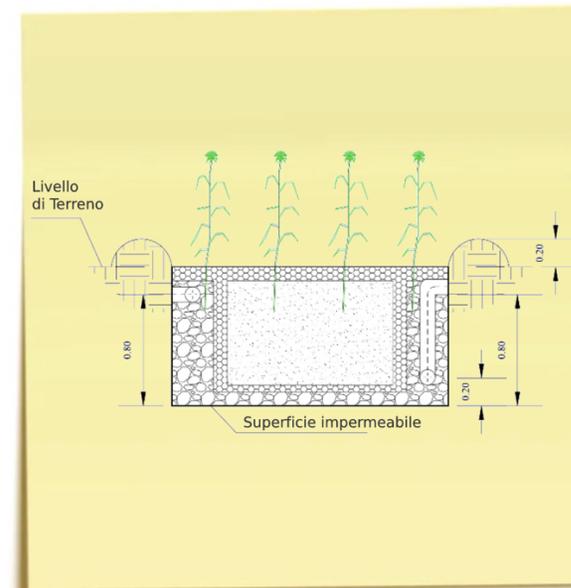
Questa protezione progettuale consente di evitare problemi di intasamento degli aggregati dovuti al trascinarsi delle particelle fini da parte della pioggia.

Per quanto riguarda la manutenzione in generale, possiamo dire che se la zona umida è stata ben dimensionata e utilizzata come suggerito per questi sistemi, non dovrebbero esserci grossi problemi, se non la **manutenzione della vegetazione** palustre, che dovrà essere **potata una o due volte l'anno** per favorirne la crescita in modo che sia sempre **bisognosa di nutrienti**. Occorre inoltre controllare la presenza di erbe infestanti ed evitare l'ingresso di persone e animali.

Nelle zone umide funzionanti, sono stati osservati problemi di innalzamento del livello dell'acqua a causa dell'intasamento dei tubi di ingresso e di uscita, spesso dovuto alla mancanza di manutenzione del sistema primario, dove il materiale solido del sistema è entrato nel tubo di ingresso e ha ostruito i fori del tubo.

Questo può verificarsi anche nel tubo di uscita a causa dell'ingresso di aggregati fini nel tubo o della compattazione del substrato.

In casi estremi, è necessario rimuovere i tubi e pulirli o sostituirli insieme agli aggregati presenti nelle vicinanze che formano il filtro.



Diseg. 19.. Vista degli argini di protezione per il deflusso superficiale.

## Rendimenti

In base alla letteratura e all'esperienza, si può osservare che le prestazioni di depurazione più elevate delle zone umide a flusso subsuperficiale riguardano la rimozione di agenti patogeni (97%) e del carico organico (80%), mentre hanno prestazioni accettabili per quanto riguarda la rimozione dei nutrienti, che li rende una componente necessaria del sistema di trattamento per soddisfare le normative. Sebbene le normative elenchino altri parametri, i più importanti sono quelli sopra citati.

In generale, e dall'analisi dei risultati delle zone umide in funzione da diversi anni, si evince che i valori di BOD sono inferiori a 50 mg/l.

In **blu**: valori richiesti per il riversamento sui corsi d'acqua superficiali o riutilizzo.

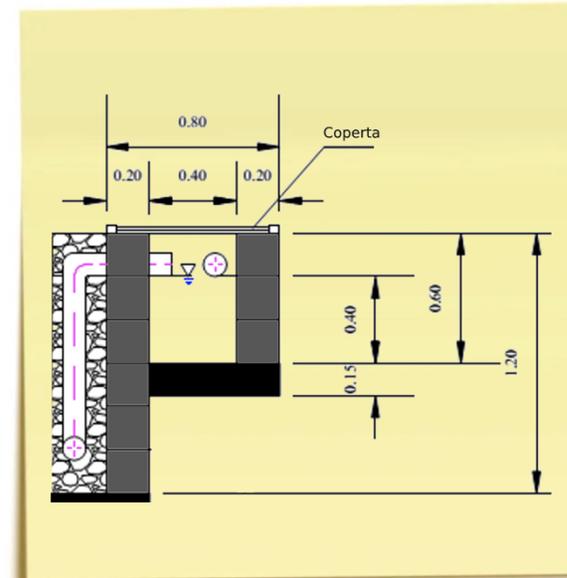
In **arancione**: valori richiesti per lo scarico in sistemi terziari d'infiltrazione.

Parametri	Uscita del sistema primario	Rendimenti %	Uscita del sistema secondario	Limiti raccomandati dalle normative
BOD5 (mg/l)	125	80	25	≤50 ≤100
Nitrogeno totale (mg/l)	38	60	15	≤20 ≤30
Fosforo totale (mg/l)	7,2	50	3,6	≤10 ≤10
Coliformi totali (NPP/100 ml)	200.000	98	4.000	≤5.000 ≤10.000

Tabella 7. Rendimenti dei sistemi secondari. Adattato da Wastewater Technology Information Booklet, Subsurface Flow Wetlands. Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente (EPA), 2000.[5]

## Camera di uscita

È l'elemento del sistema in cui si accede al campionamento, che rende la sua materializzazione importante se il sistema è progettato per essere conforme a una certa normativa. Dato che queste normative prevedono questo elemento specificamente per il campionamento. La sua collocazione in termini di accessibilità e facilità di accesso deve essere garantita.



Diseg. 20. Camera di uscita.

### 3.3. Sistema Terziario

#### 3.3.1. Riutilizzo dell'acqua

Se il sistema secondario è disegnato come menzionato prima, per arrivare ai parametri richiesti per il riversamento sui corsi d'acqua superficiali, le acque possono essere immagazzinate in un serbatoio per il suo riutilizzo, sia per si di acqua non potabile dell'edificio, come per WC, oppure per la irrigazione di acque verdi.

Il dimensionamento del sistema di riutilizzo si deve fare in ogni caso con la portata di disegno del sistema, e il calcolo di fabbisogno di acqua ad riutilizzare. In tutti i casi si deve prevedere uno sfioro del serbatoio per quando l'acqua non viene utilizzata dal tutto, indirizzata a un sistema di scarico su un corpo idrico vicino oppure a un sistema terziario di infiltrazione nel terreno.

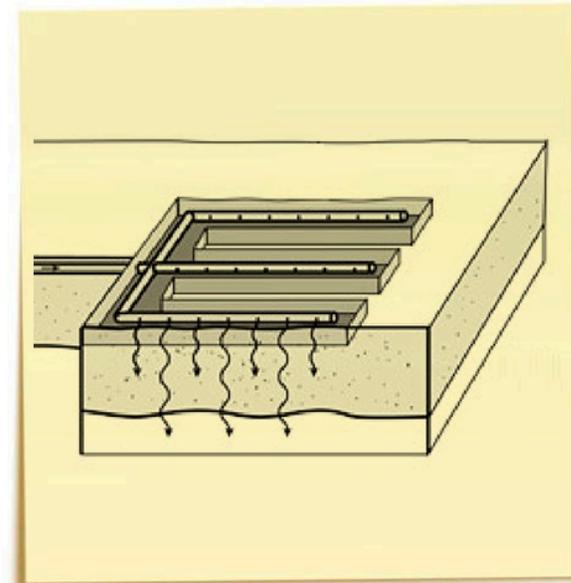
#### 3.3.2. Infiltrazione

Il sistema di infiltrazione è il sistema terziario per reinserire gli effluenti trattati nell'ambiente naturale, in questo caso il terreno.

A questo scopo, saranno sviluppate e applicate due opzioni, a seconda della loro fattibilità tecnica, economica e ambientale.

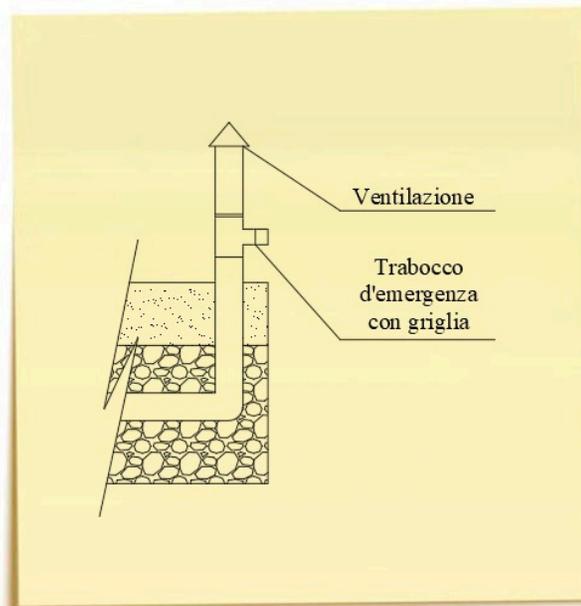
Esiste anche la possibilità di combinare, a seconda del progetto, le due alternative, canali di infiltrazione + un pozzo assorbente.

##### Canali di infiltrazione



Diseg. 7. Canali di Infiltrazione (sistema terziario)





Diseg. 24. Disegno ventilazione ed sfioro di tubazione.

Si suggerisce che la lunghezza massima dei tratti di tubo sia di 30-35 m; pertanto, se è necessario superare questa lunghezza, si dovranno realizzare due o tre diramazioni. All'estremità dei tubi sarà installato una ventilazione simile a quella del tubo di uscita della zona umida a flusso sotterraneo, in modo che il tubo lavori a pressione atmosferica e quindi eviti l'intasamento dovuto a sacche d'aria, oltre a facilitare l'infiltrazione. Per ogni ramo ci sarà un tubo di ventilazione o saranno collegati tra loro in modo da poterne utilizzare solo uno. La pendenza consigliata per le trincee di infiltrazione è molto ridotta, dell'ordine del 4 per mille (4 cm in 10 m), in modo che il liquido abbia un flusso stazionario e quindi l'infiltrazione sia favorita.

Per quanto riguarda la perforazione dei tubi, è possibile utilizzare quanto già spiegato per il tubo di uscita delle zone umide subsuperficiali oppure utilizzare tubi in PVC microfessurati di 110 mm di diametro, che consentono di creare trincee di infiltrazione con forme organiche, fino ad aumentare l'efficienza dei canali ed evitare il rischio di intasamento.

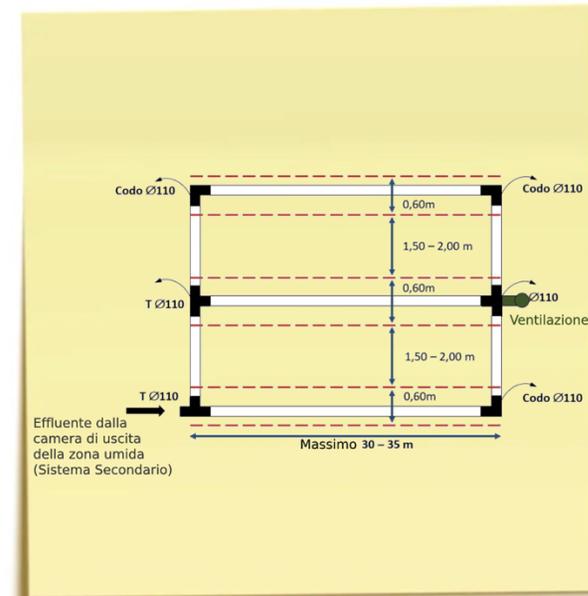


Fig. 25. Schema della distribuzione dei tubi nelle diramazioni.

Ci sono alcuni aspetti da considerare nella progettazione e nell'uso dei canali di infiltrazione. La distanza dalla falda acquifera deve essere superiore a 1 metro dal fondo della trincea e il terreno deve avere caratteristiche di permeabilità.

Il terreno destinato all'infiltrazione non può essere utilizzato per l'edificazione, ad eccezione di giardini con piante erbacee. Non è consigliato piantare nelle vicinanze alberi con un grande sviluppo radicale, poiché le radici possono ostruire il tubo di infiltrazione, entrando attraverso i giunti dei tubi nel caso in cui si aprano.

Le persone possono passarci sopra, ma è sconsigliato l'uso di veicoli che potrebbero affondare nel sistema e rompere i tubi.

Il **dimensionamento dei sistemi d'infiltrazione** sarà **in funzione della capacità di infiltrazione che ha il terreno** in cui si trova il progetto, in generale è sempre meglio di evitare dubbi fare direttamente uno studio di infiltrazione, che è semplicissimo ed economico. Si scava un pozzo fino a dove si ha il tratto caratteristico, e si riempie d'acqua, si mette un punto fisso di riferimento, e si fa una misurazione ogni un periodo di tempo stipulato di quanto si abbassa il livello d'acqua [ $mm/h$ ].

Con questo valore e la superficie in pianta del sistema si deve arrivare al valore della portata ad infiltrare, in  $m^3/h$  o  $m^3/giorno$ .

Ai fini concettuali nella tabella seguente si mostra la lunghezza dei canali di infiltrazione in base al numero di persone e al tipo di terreno del sito.

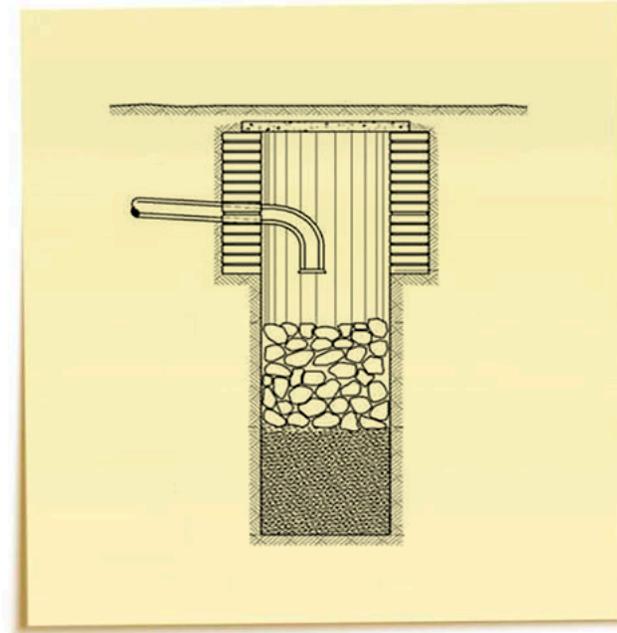
Tipo di terreno	Lunghezza della trincea			
	1 Persona	2 Persone	3 Persone	4 Persone
Sabbioso	8 m	16	24	32
Intermedio	10 m	20	30	40
Argilloso	12 m	24	48	48

Tabella 8. Lunghezza delle trincee di infiltrazione in base al tipo di terreno. Ordinanza n. 131/2022, Colon, Entre Rios, Argentina. [2]

Un modo per migliorare l'efficienza delle trincee di infiltrazione in luoghi in cui i terreni sono argillosi è quello di collocare nei corridoi esterni alla larghezza della trincea una vegetazione che abbia uno sviluppo verticale delle radici e un'elevata capacità di assorbimento dell'acqua e di evapotraspirazione. La pianta più adatta a questa funzione è il vetiver, che può essere utilizzato sia per i fossati sia intorno ai pozzetti.

Alla fine del canale di infiltrazione, nel punto più basso in cui viene effettuato lo sfioro, può essere posizionata una T a livello del terreno come sfioro che, in caso di eccesso d'acqua dovuto a forti piogge o alla saturazione del canale, consente al liquido in eccesso di essere ridirezionato al deflusso superficiale insieme all'acqua piovana verso il punto più basso del terreno, evitando intasamenti nel sistema di trattamento. Su questo sbocco deve essere collocata una rete metallica per impedire l'ingresso di insetti, anfibio o altri animali che potrebbero ostruire lo sbocco.

## Pozzi assorbenti



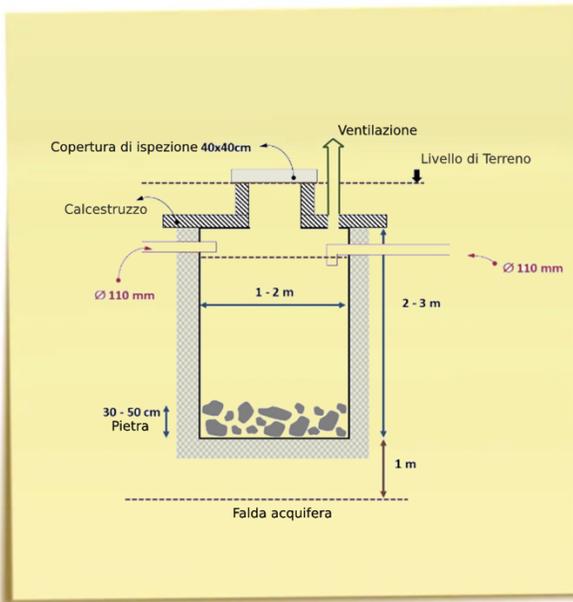
Diseg. 26.. Pozzo di infiltrazione (sistema terziario)

I pozzi assorbenti sono realizzati mediante scavi nel terreno naturale tenendo conto delle seguenti considerazioni:

Il diametro interno minimo del pozzo finito sarà di 1,0 metri e il massimo di 2,0 metri. Quando le caratteristiche del terreno lo richiedono, il pozzo assorbente avrà una struttura interna resistente, generalmente costruita con mattoni da campo, con una superficie di contatto tra il terreno e l'effluente pari ad almeno il 30% della superficie laterale. Sul fondo del pozzo dovrà essere presente uno strato di aggregato o di macerie edilizie alto da 30 a 50 cm.

Per la copertura si può utilizzare una lastra di calcestruzzo armato di sezione quadrata o rettangolare, nella quale viene inserito un coperchio di ispezione di 40 x 40 cm.

Come per i canali di infiltrazione, un tubo da 110 mm deve essere fissato alla lastra per la ventilazione. I tubi di ingresso dalla camera di scarico e il sfioro saranno realizzati con tubi da 110 mm, quest'ultimo con un gomito che entrerà a circa 15 cm sotto il livello del liquido.



Diseg. 27. Schema di costruzione pozzo di infiltrazione.

Per quanto riguarda la profondità, essa sarà limitata alle tecniche di costruzione utilizzate e alla distanza dalla falda freatica, che deve essere superiore a 1 metro dal fondo del pozzo, suggerendo profondità di 2 o 3 metri.

Per il suo dimensionamento, si deve fare lo studio di infiltrazione previamente menzionato per ottenere la superficie in pianta del sistema.

Si prenderanno in considerazione come riferimento i valori indicati nella seguente tabella, che daranno un'idea delle dimensioni del pozzo.

Superficie in m2 a persona	Tipo di terreno
0.33	Sabbia grossolana
0.75	Terreno sciolto, sabbioso o argilloso
1.3	Terreno argilloso con abbondante ghiaia o sabbia
3.0	Terreno argilloso con poca ghiaia o sabbia
5.0	Argilla semi compatta
Non si può usare	Argilla compatta, roccia

Tabella 9. Superfici assorbenti per persona in base al tipo di terreno, con valori adattati da Díaz Dorado, M. (2008). *Impianti sanitari. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.* [2]

Sia per i pozzi che per i canali di infiltrazione, la conoscenza delle caratteristiche del sottosuolo è essenziale per ottenere un risultato conforme al progetto scelto. Ciò può essere fatto consultando informatori qualificati che hanno lavorato su terreni vicini, altrimenti sarà necessario effettuare indagini esplorative scavando pozzi o trincee a mano o con l'aiuto di macchine per accedere agli strati che ci interessa conoscere e fare lo studio d'infiltrazione.

## 4. Limitazioni di Spazio e possibili Soluzioni

Uno dei problemi con cui ci troviamo all'ora di progettare queste soluzioni è la disposizione di uno spazio per materializzare il biofiltro, se si vuole fare un corretto trattamento delle acque reflue, una alternativa disponibile nel mercato oggi sono le piante di fanghi attive, che hanno i suoi vantaggi e svantaggi.

Ma come possiamo fare per inserire le soluzioni basate sulla natura negli edifici esistenti? Nelle città ottocentesche, come Torino, si faceva una fognatura unica di scarico per le acque reflue e le acque piovane, ciò significa che quando piove, le portate che arrivano ai nuovi sistemi depurativi sono maggiori. La soluzione proposta è la di combinare i tetti verdi, oggi utilizzati ogni volta in più, ma che a sua volta siano un sistema secondario di trattamento.

### 4.1. Fanghi attivi

Nei casi in cui le condizioni spaziali del progetto lo richiedano, si può optare per piante di trattamento a fanghi attivi, che sono impianti disegnati per trattare le acque reflue con un processo biologico che utilizza microrganismi aerobici (che richiedono ossigeno) per decomporre la materia organica presente nell'acqua. Per fanghi attivi si intendono **i fanghi biologicamente attivi che contengono un'alta concentrazione di microrganismi benefici.**

Il processo di trattamento comprende la miscelazione delle acque reflue con fanghi attivi in **serbatoi di aerazione**, dove i microrganismi assorbono gli inquinanti organici presenti nell'acqua. Successivamente, l'acqua trattata viene separata dai fanghi nei chiarificatori. I fanghi separati vengono riciclati nel serbatoio di aerazione per mantenere l'attività biologica.

Questo tipo di trattamento presenta alcuni vantaggi e svantaggi.

Il vantaggio principale è lo spazio occupato, poiché questi sistemi sono interrati e **richiedono una superficie ridotta per trattare un grande flusso di acque reflue.**

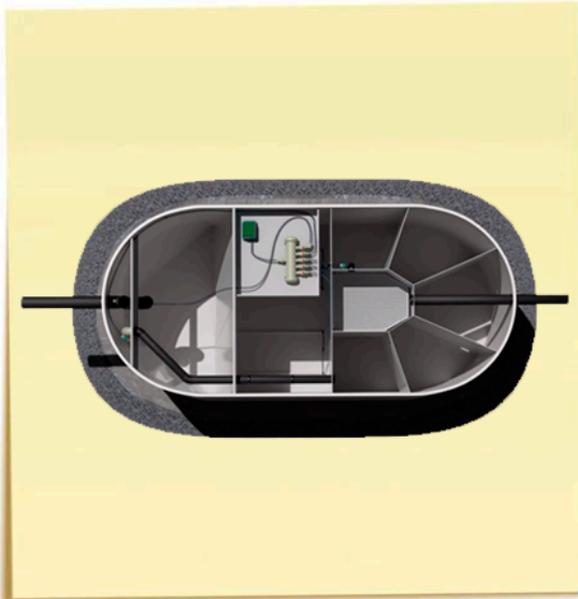
I principali svantaggi sono gli **elevati costi di costruzione e manutenzione.** Soprattutto per quanto riguarda la manutenzione, che richiede una revisione costante e personale specializzato per mantenere il corretto funzionamento.

I costi elevati sono dovuti a costi energetici costanti, prodotti chimici, rimozione e controllo dei fanghi, sostituzione e manutenzione delle insufflanti, manodopera specializzata (costosa e difficile da trovare). Inoltre, se l'alimentazione elettrica viene interrotta per un giorno, il sistema biologico a fanghi attivi muore, rendendo molto difficile e costosa la riattivazione dell'impianto.

Questa soluzione è oggi la più utilizzata in tutto il mondo, soprattutto per i casi di grande scala, per una questione di costume e di tradizione. È la tecnologia che tutte le organizzazioni educative occidentali insegnano e raccomandano. Su scala urbana, negli ultimi anni, possiamo osservare come in Paesi con una cattiva gestione politica ed

economica, questi sistemi finiscano con una manutenzione non corretta, causando il malfunzionamento degli stessi. Questi casi sono presenti in tutto il Sud America e l'inefficienza della manutenzione di questi sistemi a medio e lungo termine è molto evidente.

Per questo motivo, consiglio questo tipo di soluzioni di tecnologia sofisticata solo a progetti con un alto livello di organizzazione e di reddito economico, che siano in grado di mantenere questi sistemi.



Diseg.28. Pianta a fanghi attivi. TIM [4]

## 4.2. Tetti verdi

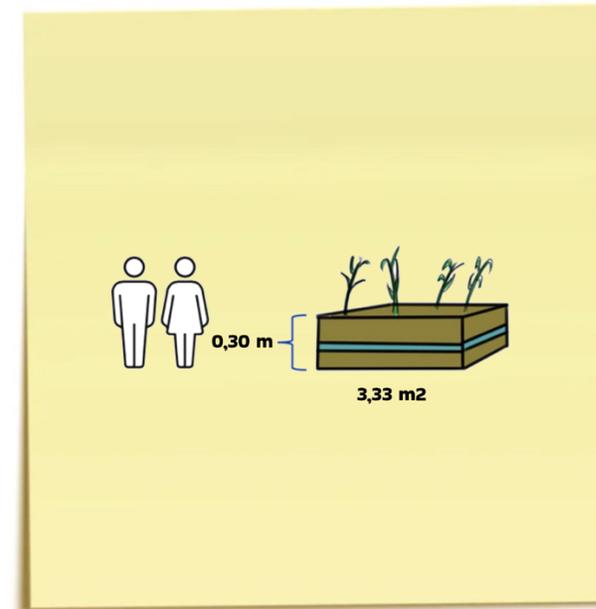
Se si vuole fare un biofiltro ma non c'è la superficie necessaria per realizzare una zona umida di tipo sub superficiale con un'altezza di battente d'acqua di 80 cm, lo primo che si cerca da provare è di fare uno di tipo verticale, dove l'obbiettivo di calcolo è di fare un volume utile di ritenzione uguale al necessario. Essendo il volume utile sempre 1/3 il volume totale, che rappresenta ai volumi vuoti degli aggregati. E si deve assicurare una condizione tale che si riproducono ancora le batterie aerobiche, che si logra o con piante di radici lunghe, esempio Vetiver, o mediante l'areazione.

In questo modo possiamo ridurre la superficie ed andare in alto.

Utilizzando questo concetto si cerca di trovare una soluzione modulare in grado di essere applicate a edifici urbani esistenti, sia come tetto verde o pareti verde, che servano anche come trattamento secondario delle acque reflue.

Una possibile soluzione per la realizzazione di un biofiltro senza occupare spazio negli edifici potrebbe essere la materializzazione di tetti verdi che siano zone umide artificiali con un'altezza utile di tirante d'acqua di 0,30 m.

Riprendendo il concetto della necessità di una superficie di 1,25 m<sup>2</sup> a persona per una profondità di tirante di 0,80 m.



Diseg.29. m<sup>2</sup> a persona per tetti verdi.

Per avere lo stesso volume e tempi di ritenzione, supponendo gli stessi aggregati ad utilizzare, con un'altezza di tetto verde di 30 cm, la superficie necessaria a persona sarà di 3,33 m<sup>2</sup>. Che si può pensare come un modulo quadrato di 1,82 m di lato. Come in nessun caso si può dimensionare questi sistemi per meno di 600 l/giorno, abbiamo bisogno come minimo di una superficie di 8,88 m<sup>2</sup> per realizzare il tetto verde, ciò un quadrato di 2,97 m di lato.

Nel caso di realizzare questi sistemi secondari sul tetto dell'edificio si può fare il sistema primario al di sotto, e portare l'effluente con una pompa, questo sarà favorevole all'arrivare le acque in pressione, fine di garantire una corretta distribuzione degli effluenti sul tetto verde.

Il fatto di fare un tetto verde non solo sarà vantaggioso rispetto al problema di superficie per materializzare il sistema secondario di trattamento, ma anche di confort. I tetti verdi hanno diversi benefici, tra cui:

**Risparmio energetico:** i tetti verdi forniscono isolamento termico naturale, riducendo la necessità di riscaldamento in inverno e di aria condizionata in estate. Ciò si traduce in un minore consumo di energia elettrica per il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici, contribuendo a ridurre i costi energetici.

E in questo caso, all'essere sempre saturo d'acqua, durante l'estate sarà l'evaporazione dell'acqua quella che prende il calore esterno. E durante l'inverno, all'essere un flusso d'acqua, che a sua volta arriva con temperatura maggiore, il gelo non arriverà mai alla superficie interna della copertura.

Sarà ancora più vantaggioso ai fini di isolamento termico che un tetto verde normale.

**Riduzione dell'impatto ambientale:** i tetti verdi riducono l'impatto ambientale fornendo una superficie vegetale che aiuta a mitigare l'effetto isola di calore urbano, riducendo la temperatura ambiente nella zona circostante. Assorbono anche l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e rilasciano ossigeno, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di gas serra e migliorando la qualità dell'aria.

**Gestione delle acque piovane:** I tetti verdi rappresentano un numero di Runoff ridotto o nullo, assorbono e ritardano il deflusso delle acque piovane, riducendo il carico sui sistemi fognari e contribuendo a prevenire allagamenti e alluvioni.

**Miglioramento della qualità dell'aria e dell'acqua:** le piante dei tetti verdi catturano polveri e inquinanti atmosferici, aiutando a purificare l'aria. Inoltre, i substrati e le piante dei tetti verdi filtrano e assorbono i contaminanti dalle acque piovane, contribuendo a migliorare la qualità dell'acqua.

**Aumento della biodiversità urbana:** I tetti verdi forniscono habitat per insetti, uccelli e altre forme di vita, aumentando la biodiversità nelle aree urbane e offrendo opportunità di rifugio e alimentazione per le specie locali.

**Estetica e benessere:** I tetti verdi aggiungono un elemento estetico alla città, migliorando il paesaggio urbano. Inoltre, la presenza di vegetazione può contribuire a ridurre lo stress e migliorare il benessere psicologico delle persone.

È importante menzionare che si deve fare il calcolo corrispondente del G<sub>2</sub>, carico superficiale non strutturale, che rappresenta per la struttura di realizzare un tetto verde saturo d'acqua.



Fig. 17. Ingresso a la prima Laguna di trattamento (Fotografia dall'autore)



Fig. 18. Prima Laguna di trattamento(Fotografia dall'autore)

## 5. Soluzioni a Grande Scala

Nei casi di grande scala, dove le portate d'acqua da trattare e il carico contaminante sono molto più grandi, il sistema di trattamento cambia ma in maniera analoga, le camere settiche vengono sostituite da sistemi di lagune di ritenzione e il sistema secondario e terziario finisce per essere sostituito da foreste.

I sistemi di lagune di ritenzione sono generalmente costituiti da una serie di tre lagune. La prima è una laguna anaerobica, in cui la profondità dell'acqua è superiore a 2,5 metri per garantire il trattamento anaerobico in assenza di ossigeno.

Poi, una seconda laguna facoltativa, profonda tra 1,5 e 2,5 metri, dove i batteri anaerobici agiscono nella parte inferiore, i batteri aerobici nella parte superiore e i batteri facoltativi tra la parte inferiore e superiore. Infine, c'è una laguna aerobica o di moderazione, dove la profondità non supera il metro di altezza, garantendo un trattamento aerobico.



Fig.19. Tutti e 3 Lagune Facoltativa (Fotografia dall'autore)

Dopo questo sistema di lagune, l'acqua viene indirizzata a un sistema di irrigazione forestale oppure utilizzata per irrigazione agricola. Questo genera un impatto di scarico di acque reflue zero e un uso produttivo delle acque reflue.



Fig. 20. Irrigazione Forestale (Fotografia dall'autore)

Il caso presentato nelle fotografie è un frigorifero avicolo in Entre Ríos, Argentina. Dove i parametri di calcolo sono nell'ordine di 1000 a 1500 mg/l per la BOD, ricordiamo che negli effluenti domestici sono nell'ordine di 250 mg/l.

Questo è un esempio di effluenti industriali caricati con inquinanti organici. Dove il calcolo di dimensionamento è con gli stessi principi teorici, ma eccedenti a questa Tesi.

Nei casi delle acque reflue domestiche, se vengono raccolti dalle fognature urbane e trattati insieme, si può adottare anche questi sistemi. Dove mediante queste tecnologie "soft" si può fare un pre-trattamento lagunare, arrivando ai parametri che non impattano sulle piante, e riutilizzare questi effluenti caricati con nutrienti per irrigazione agricola o forestale, tornando il problema di contaminazione delle acque, e finanziamento delle opere civili in un sistema produttivo a medio termine, che può essere finanziati da organizzazioni internazionali che investono in questo tipo di progetti.

Un esempio di esta soluzione è il progetto SIAR, in Reconquista/Avellaneda, Santa Fe, Argentina. Dove le acque reflue delle due città, che insieme hanno nell'ordine di 100 mille abitanti, arrivano sullo stesso torrente d'acqua, che arriva dopo sul fiume Paraná. Questo torrente, quando le portate sono basse, presenta sintomi di fiume 'malato', come l'eutrofizzazione, e si ha deciso di fare un progetto di raccolta di tutte le acque reflue abitative e sommate alla zona industriale frigorifera, un sistema di pretrattamento lagunare, e di irrigare un totale di più di 2000 ettari di foresta.

Per capire i numeri finanziari, in ognuna di questi ettari si produce in torno ai 350 euri per anno, in allevamento estensivo, e con il progetto forestale, capendo che è un progetto a medio termine perché si può tagliare il primo albero ai 8 anni, progettando a 10 anni e dividendo per anno si ha una stima di produzione dell'ordine di 1700 euri all'anno in legno e biomassa.

Questi numeri hanno confermato la partecipazione e il co-finanziamento per parte del IDB (Inter-American Development Bank) e il CAF (Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe).

Questo non sarà solo una soluzione al problema senza bisogno di soldi statale, ma anche avrà un impatto sociale in posti di lavoro diretti sul progetto e indiretti nella industria di legno locale, un doppio impatto ambientale positivo, nel riutilizzo delle acque che contaminano il fiume e di captazione di CO<sub>2</sub>. E anche l'utilizzo di biomassa per la produzione di energia.

Il problema di contaminazione delle acque di qualsiasi valle, dovute alle acque reflue abitative, si può cominciare con una soluzione senza bisogno di grandi opere civili, mediante l'utilizzazione di decreti territoriali che delegano il problema al settore privato. Decreto che richiede per i nuovi progetti che non sono collegati alla rete fognaria di predisporre un sistema di trattamento che garantisca il rispetto dei parametri di scarica generalmente già stabiliti, per l'approvazione dei piani di costruzione, mentre per i progetti esistenti è previsto un periodo di tempo per il loro adeguamento, con sanzioni in caso di non-conformità.

Accompagnato da un Allegato Tecnico e da un Manuale Tecnico che offrono le diverse tecnologie disponibili, come camere settiche e biodigestori per il trattamento anaerobico, e biofiltri o zone umide artificiali per il trattamento aerobico. Con guide di calcolo e manuali per consentire a qualsiasi ingegnere, architetto, costruttore o pubblico in generale di comprendere, per diventare parte della soluzione e non del problema.

Una volta applicate le diverse soluzioni, sia dai decreti e dai progetti di raccolte, pretrattamento ed uso produttivo delle acque reflue, si può pensare in tecnologie di rigenerazione di acque contaminate, utilizzando tecnologie macro e microbiologiche. Tornando al primo esempio della contaminazione e la eutrofizzazione del lago San Roque, nell'anno 2023 con mio fratello gemello abbiamo partecipato di uno studio nel laboratorio di idraulica della UNC, utilizzando le acque del lago con cianobatteri e utilizzando una biotecnologia giapponese, EM, con diverse proporzioni in relazione alla superficie, applicate all'acqua una volta alla settimana, e in solo 3 settimane di studio i cianobatteri in superficie non c'erano più. [8]Questo prova una delle diverse tecnologie naturali che hanno il potenziale di pulire le acque.

Ma non serve di nulla se non fermiamo le emissioni di effluenti prima.

## 6. Il vantaggio dell'utilizzo di EM

Lo strumento che vi invito a conoscere nasce da un interesse comune a tutti, ma orientato a contribuire agli Obiettivi del Millennio: ridurre la fame, la povertà, la disuguaglianza, l'impatto negativo sui processi ambientali e sulla biodiversità, assicurando i diritti umani, il patrimonio e l'identità culturale a livello internazionale, partecipando al cambiamento verso l'Era di Acquario.

"Creare un paradiso sulla Terra, eradicando malattie, povertà e conflitti". *trad. it. [11]*

Il mio obiettivo principale nell'utilizzo di questa biotecnologia è quello di imparare dal grande potere della natura, che va al di là di ciò che l'uomo è in grado di comprendere, di rendere disponibile questa conoscenza e di adattarla a obiettivi sociali, ambientali ed economici.

Il prodotto si basa su microrganismi facilmente accessibili, particolarmente economici, altamente efficaci ed estendibili a tutti i settori produttivi immaginabili in modo innovativo.

Preservando la natura e proteggendo l'ambiente in modo responsabile.

Il prodotto da utilizzare si chiama Effective Microorganisms (EM), sviluppato da Teruo Higa, professore di orticoltura all'Università Ryukyus di Okinawa, in Giappone.

La filosofia di base di questa nuova tecnica è quella di ristabilire l'equilibrio energetico nella natura senza contaminarla.

*"Il grado di contaminazione dell'ambiente sta aumentando in tutto il mondo a causa della mancata comprensione del fatto che, in senso più ampio, l'aumento dell'entropia della Terra accade perché non purifichiamo le sostanze nocive in maniera opportuna, aumentando con l'entropia la contaminazione."* *trad. it. [11]*

Teruo fa capire che per risolvere un problema più velocemente, dobbiamo lavorare su lo più piccolo possibile. Per relatività di Einstein, mentre più piccolo lo spazio, per mantenere l'energia, più grande dev'essere la dimensione temporale. Questo significa che per il tempo che per noi sono secondi, per i microrganismi sono generazioni e generazioni, analogo di maniera frattale alla relazione di generazioni umane rispetto al tempo in cui si muove la Terra, come organismo vivo di scala spaziale più grande.

La spiegazione volgare di questa tecnologia è che in ogni gruppo di microrganismi abbiamo un 10% di microrganismi "buoni" e un 10% di microrganismi "cattivi". Se abbiamo latte, le batterie predominanti fermentano, cioè mangiano la materia organica, la decompongono senza perdita di energia, e la buttanò in forma solubile nell'acqua, il latte si torna formaggio. Se invece le batterie predominanti nel latte soffrono di putrefazione, nella digestione della materia organica si decompongono, rilasciando energia sotto forma di gas e di calore, energia che sarà ora in un piano energetico diverso, entropico, mai tornando all'equilibrio con il piano materiale originale.

Allora, se abbiamo 10% di batterie che fermentano e 10% di batterie che soffrono di putrefazione, cosa succede con l'altro 80%? Si lasciano guidare per quelli che hanno

accanto, imitano al leader, analizzano la storia vicina per prendere un comportamento, quasi analogo a noi umani all'ora di elezioni politiche, abbiamo 10% persistenti nella scelta di A e 10% persistenti con la scelta di B, e un altro 80% analizzando la situazione.

Questa biotecnologia è costituita da microrganismi che tendono sempre a fermentare e che insieme formano un gruppo che funziona già come un sistema, dove gli scarti di uno sono ciò che l'altro mangia, e così via. In breve, si tratta principalmente di lieviti, batteri fotosintetici e acidi lattici, ma contengono circa 80 varietà di microrganismi, tra cui specie anaerobiche e specie aerobiche, come quelle fotosintetiche, dando luogo alla coesistenza e alla complementarietà di questi microrganismi, che conferiscono un elevato potere antiossidante, che anche si adattano a diversi ambienti, anche estremi.

*"Batteri fotosintetici: La fotosintesi non è semplicemente qualcosa che avviene nelle foglie delle piante. Si verifica anche nel suolo e nell'acqua, dove è causata dall'azione dei batteri fotosintetici. ... La batteria fotosintetica sintetizza antiossidanti, aminoacidi, zuccheri e una serie di sostanze fisiologicamente attive e stimola la crescita delle piante. Le sostanze così sintetizzate non solo vengono assorbite dalle piante, ma svolgono anche un ruolo di supporto alla proliferazione di altri microrganismi efficaci."* trad. it.Pag. 120 [9]

Vi starete chiedendo cosa succede con il 10% iniziale che persiste nella sofferenza della putrefazione, e la risposta è che si diffondono in tempi troppo veloci per noi. Di nuovo, per risolvere un problema più velocemente, dobbiamo andare più in piccolo.

Personalmente ho conosciuto questa tecnologia mentre abitavo a Buenos Aires nel 2018, visitando a mie nonne in Colón, Entre Rios, sono andato nel campo di mio zio, mi ha detto che stava lavorando con questa biotecnologia che aveva conosciuto grazie al suo rapporto con il Giappone viaggiando per il suo 6° dan di karate nero.

Sono rimasto impressionato appena sono entrato nel pollaio e non ho sentito alcun odore, ma certo, nessuna delle batterie soffriva di putrefazione, liberando energia sotto forma di gas, anidride solforosa (SO<sub>2</sub>), ..., metano (CH<sub>4</sub>), quest'ultimo responsabile degli odori. Il compost di decomposizione dei rifiuti organici, senza essere caldo e senza odori. Le piante; tomati e limoni che cadevano dei rami dai grandi che erano. Lui usava questi microrganismi per tante cose, come per i melari delle api che producono sua miele.

Come il rappresentante di EM in Argentina, Raul Higa, cugino di Teruo, ha sempre vissuto a Cordoba, è mio fratello gemello abitava a Cordoba in quel momento, sono andato direttamente a prendere a Germelo e siamo andati a conoscere Raul, che appena siamo arrivati a casa sua, la sua moglie ha detto: "sono loro", come se di una profezia si trattasse. Dopo ore di connessione siamo usciti con un libro e una bottiglia di EM ognuno, sono partecipato negli 100 anni di amicizia tra Argentina e Giappone nel Giardino Giapponese di Buenos Aires con Raul, e da lì che studiamo e facciamo studi con le università fino a utilizzarli come adattivo al calcestruzzo, migliorando le sue condizioni meccaniche.

EM, capire le parole di Teruo, mi ha portato non solo uno strumento per utilizzare oggi per pulire le acque, soltanto una energia universale di fede che siamo ancora in tempo per riequilibrare la nostra relazione con la natura.

## 6.1. nel trattamento delle acque reflue

EM può essere utilizzato come additivo per migliorare questi sistemi di trattamento; basta versarlo in una qualsiasi wc del sistema per farlo arrivare al sistema di trattamento.

Il dosaggio che Teruo raccomanda per le acque reflue nel suo libro è di 1 litro di EM per 100.000 litri di acque reflue. Questo dosaggio può essere fornito in 3 o 4 occasioni all'anno.

Questo dosaggio può essere variato man mano che viene provato e perfezionato con l'esperienza, analizzando la risposta di ogni sistema.

Il potere digestivo di questo gruppo di microrganismi favorisce la digestione dei fanghi nelle camere settiche, rendendo il loro accumulo molto più lento e prolungando di conseguenza la manutenzione dell'impianto da 2 a 5 anni.

Ma il vantaggio più importante dell'uso dell'EM nei sistemi di trattamento è l'eliminazione dei cattivi odori, che può essere una soluzione rapida per i sistemi mal dimensionati con questa caratteristica. È importante chiarire che se viene implementato un sistema di trattamento della fossa settica e un sistema di zona umida subsuperficiale come proposto in questa tesi, esso non produce odori anche senza l'uso di EM come additivo. Pertanto, l'aumento dei periodi di manutenzione è il principale beneficio da tenere in considerazione nell'analisi economica.

Inoltre, migliora le condizioni di depurazione, ottenendo parametri migliori all'uscita dei sistemi.

Non sono stati fatti progressi, almeno con le informazioni in mio possesso, in studi su sistemi di trattamento con caratteristiche dimensionali uguali, con un sistema di controllo e uno o più con dosaggi diversi di EM. Credo che sarebbe interessante studiare questo aspetto per verificare che effettivamente quello che propone Higa sia corretto.

Vi invito a portare avanti questi studi, non esitate a contattare l'autore per avanzare in qualsiasi studio o progetto di ricerca.

## 6.2. Nella rigenerazione di acque contaminate

Questa biotecnologia ha dimostrato risultati nella rigenerazione di acque contaminante attraverso il pianeta, anche risolvendo il principale problema generati nei corpi idrici lentiche dovute alle acque reflue abitative.

Applicando questa biotecnologia in casi di laghi eutrofici in proporzione alla sua superficie è stato possibile eliminare i cianobatteri delle superficie e migliorando la qualità dell'acqua.

Un caso esempio può essere il recupero della qualità dell'acqua dei laghi della diga della città di Xalapa, in Veracruz, Mexico.

La valutazione dei parametri di qualità dell'acqua, effettuata da INECOL [10], mostra che i laghi hanno recuperato la loro capacità di autodepurazione e hanno ridotto il rischio sanitario o di diffusione di malattie nei laghi per i pesci e gli utenti della valle.

I risultati delle analisi sulla qualità dell'acqua alla fine del progetto mostrano un miglioramento significativo nei 14 parametri valutati, in particolare l'aumento dell'ossigeno disciolto, la drastica riduzione della materia organica, dei nutrienti e delle sostanze chimiche nella colonna d'acqua e l'eliminazione delle tossine responsabili del mantenimento dei pesci nei laghi in condizioni di stress cronico.

In questo caso è stato utilizzato il seguente protocollo.

Trattamento di shock 250lt di EM/ha (una settimana)

Trattamento di stabilizzazione (150lt di EM/ha/settimana) per tre mesi.

Trattamento di mantenimento (50lt di EM/ha/settimana) per il resto dell'anno.

La bellezza paesaggistica è uno dei servizi ambientali il cui valore economico è più difficile da stimare o calcolare; tuttavia, è quello di maggiore interesse per il collettivo sociale. Gli utenti del Paseo de los Lagos, al termine del progetto di recupero, possono apprezzare l'avvistamento della fauna acquatica del luogo. È comune vedere come i visitatori si fermano a contemplare i pesci e le tartarughe che si possono vedere dalle coste.

Si può anche notare che la superficie dell'acqua ha recuperato il suo effetto specchio, riflettendo più chiaramente gli elementi visivi del paesaggio, come alberi, edifici e nuvole, dando la sensazione intuitiva che si tratti di un corpo idrico in buone condizioni. Inoltre, si possono notare miglioramenti nella pulizia della pietra che costituisce il bordo del lago, poiché in molti punti è stato eliminato il colore verde intenso dei cianobatteri.

La manutenzione consiste nell'applicazione di basse dosi nei siti prioritari e nell'introduzione di " palline" di fango con microrganismi sul fondo del lago per accelerare la decomposizione dei solidi sedimentati. Lo scopo di questo processo è quello di prevenire il deterioramento della qualità dell'acqua, evitare che diventi nuovamente gravemente inquinata e quindi la necessità di una risanazione completa.



Fig. 21. Lago a Xalapa, prima di essere trattato con EM. Andres Gonzalez, Rappresentante EM Mexico



Fig. 22. Lago a Xalapa, dopo essere trattato con EM. Andres Gonzalez, Rappresentante EM Mexico.

Prendendo questi studi come riferimento, nel 2023 con mio fratello gemello, l'Ing. German Raffo, abbiamo proposto di fare uno studio nel laboratorio di idraulica della UNC, utilizzando acque del Lago San Roque con cianobatteri e utilizzando EM, con diverse proporzioni in relazione alla superficie, applicate all'acqua una volta alla settimana e in solo 3 settimane di studio i cianobatteri in superficie non c'erano più.

L'applicazione di EM ha dimostrato di essere efficace nel ridurre l'abbondanza cellulare di *Microcystis* sp (cianobatteri).

Il miglioramento dei livelli di ossigeno disciolto suggerisce un'influenza positiva dei microrganismi presenti nell'EM sulla qualità dell'acqua.

"I livelli di nitrogeno totale mostrano una riduzione generalizzata, indicando una possibile influenza positiva dei microrganismi EM sulla denitrificazione. Tuttavia, non si osservano variazioni significative nei livelli di fosforo totale tra i trattamenti." trad. it. [9]

"Nel complesso, questi risultati corroborano l'ipotesi che la tecnologia EM possa svolgere un ruolo chiave nel miglioramento della qualità dell'acqua e nella riduzione della proliferazione di *Microcystis* sp. nel lago San Roque, offrendo promettenti prospettive di applicazione su scala pratica." trad. it. [8]

## 7. Altre applicazioni della Tecnologia

### 7.1. Biopiscine

Acqua sana, bagno sano

Le biopiscine sono lagune naturali costruite artificialmente, che garantiscono un'acqua pulita e sana, piena di vita in cui si può fare il bagno.

Queste funzionano come una piscina normale, ma invece di usare il cloro per pulire l'acqua, questa viene fatta ricircolare attraverso una zona umida costruita.

Separando la parte di bagno dalla vita acquatica di piante e altri organismi, dove l'individuo può usufruire di uno spazio come di una piscina tradizionale, con un bordo infinito che si estende su una laguna naturale, che funziona come una zona umida.

Questo ecosistema equilibrato permette di evitare l'uso di sostanze chimiche come il cloro per la manutenzione.

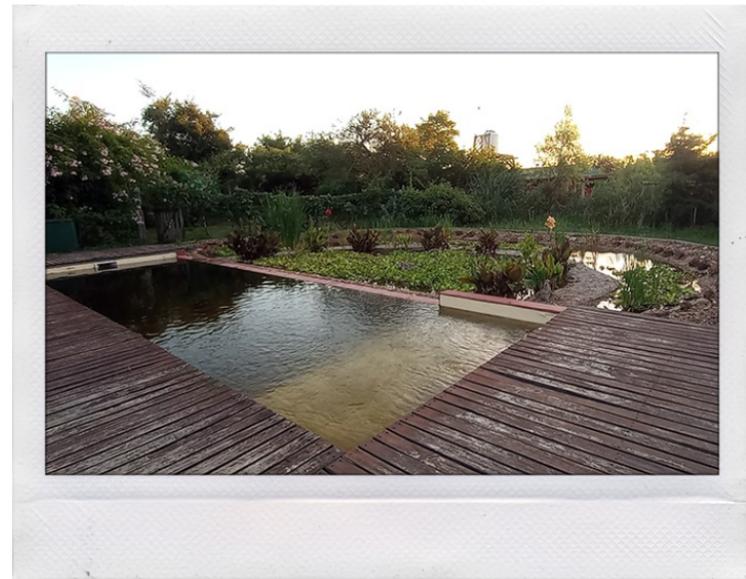


Fig. 23. BioPiscina Entre Rios, Argentina. Fernando Raffo

Nelle piscine convenzionali, tutti i tipi di agenti patogeni e di vita vengono ammazzati dal cloro, generando un'acqua inerte con un alto contenuto di cloro che è dannoso per la pelle e per l'organismo, e per la vita dell'acqua della piscina.

Una biopiscina, invece, è un ecosistema equilibrato, che garantisce un'acqua sana e piena di vita attraverso un processo di filtrazione biologica.

I progetti delle biopiscine possono variare a seconda della progettazione dell'area di balneazione, dell'area di rigenerazione, della circolazione dell'acqua, dei materiali utilizzati, dello spazio disponibile, della topografia, del numero di utenti e di tanti altri fattori.

Ogni caso dovrà essere studiato in modo particolare.

Non è necessario di avere i sistemi connessi sullo specchio d'acqua, si potrebbe usare un biofiltro in parallelo per dove fare ricircolare l'acqua, e riprenderla nella piscina.

Immaginiamo, ad esempio, di voler utilizzare un biofiltro per pulire l'acqua di una piscina olimpionica, per utilizzarla in alternativa al cloro, che la rende poco piacevole per nuotare; si potrebbe realizzare un biofiltro parallelo progettato per pulire gli inquinanti derivanti dall'uso umano, e far ricircolare, tramite una pompa, l'acqua attraverso un biofiltro, oppure di realizzare un tetto verde sopra di essa, le soluzioni sono tutte quelle che si possono immaginare. Ogni caso dovrà essere studiato in modo particolare. In questo esempio, se si tratta di una piscina riscaldata, un fattore importante da tenere in considerazione sarebbe la temperatura dell'acqua prima dell'ingresso al sistema di trattamento.



Fig. 24. BioPiscina Entre Rios, Argentina. Fernando Raffo

Le biopiscine offrono una serie di vantaggi significativi rispetto alle piscine tradizionali. Ecco alcuni dei principali:

**Sostenibilità ambientale:** le biopiscine utilizzano processi naturali di filtrazione e rigenerazione dell'acqua, eliminando la necessità di sostanze chimiche come il cloro. Ciò riduce l'impronta ecologica e minimizza il rilascio di sostanze chimiche nocive nell'ambiente.

**Acqua pulita e sana:** le biopiscine utilizzano piante e microrganismi benefici per mantenere l'acqua pulita e limpida. In questo modo si crea un ambiente di nuoto più sano, senza le sostanze chimiche irritanti presenti nelle piscine tradizionali.

**Basso costo di gestione:** a lungo termine, le biopiscine tendono a essere più economiche rispetto alle piscine tradizionali, in quanto non richiedono l'acquisto costante di prodotti chimici o l'energia necessaria per far funzionare i sistemi di filtrazione e disinfezione.

**Estetica naturale:** le biopiscine si integrano armoniosamente nell'ambiente circostante, offrendo un aspetto più naturale e attraente rispetto alle piscine tradizionali, che spesso possono apparire invadenti nel paesaggio.

**Biodiversità:** le biopiscine possono favorire la biodiversità fornendo habitat per piante e animali acquatici. Ciò può contribuire alla conservazione della fauna locale.

**Minori irritazioni cutanee e oculari:** eliminando l'uso del cloro e di altre sostanze chimiche aggressive, le piscine biologiche riducono la possibilità di irritazioni cutanee e oculari per i bagnanti.

**Valore di rivendita:** Le biopiscine possono spesso aumentare il valore di una proprietà grazie al loro fascino ecologico e ai bassi costi di gestione a lungo termine.

**Esperienza di nuoto unica:** nuotare in una biopiscina può offrire un'esperienza di nuoto più piacevole e naturale, poiché l'acqua ha solitamente una temperatura più gradevole e risulta più morbida sulla pelle.

**Contributo all'educazione ambientale:** le biopiscine possono servire come strumenti educativi per promuovere la consapevolezza ambientale e la comprensione dei processi naturali di depurazione dell'acqua.

**Minore impatto sulle risorse idriche:** utilizzando sistemi di filtrazione naturali, le biopiscine possono richiedere meno risorse idriche rispetto alle piscine tradizionali.

In breve, le biopiscine offrono un modo sostenibile e naturale di godere di uno spazio balneare, con benefici sia per l'ambiente che per la salute delle persone che le utilizzano.

Si in questi sistemi utilizzammo anche EM come additivo, è ancora più facile di mantenere l'acqua in condizioni ottimali.

## 8. Integrazioni e Proposte Architettoniche

### Integrazioni

Principalmente, chi sceglie questo tipo di soluzione è una persona in sintonia con il concetto dell'importanza della natura e dell'acqua.

L'opera architettonica non è quindi semplicemente una soluzione al problema, ma anche una filosofia dello spazio in cui si trova.

Ogni progetto avrà il suo proprio **rapporto con lo spazio** in cui si trova e la sua propria scelta di materiali di finitura.

La zona umida costruita è principalmente interrata, quindi il suo funzionamento non dipende dalla finitura scelta.

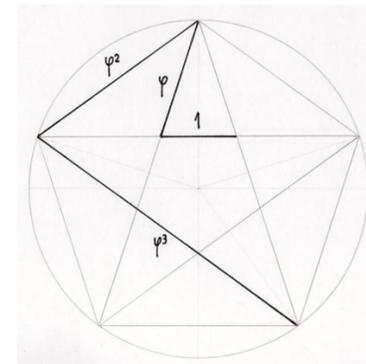
È quindi nella sua terminazione che l'architetto avrà libertà di scelta.

Ad esempio, se la finitura della struttura principale è in calcestruzzo a vista, si può scegliere un cordone perimetrale dello stesso materiale, per integrare la zona umida nell'architettura e rappresentare il suo abbraccio con la natura.

Credo che per risolvere questo problema ambientale dobbiamo innanzitutto concentrarci sul messaggio da trasmettere alla società, e per questo dobbiamo farlo attraverso l'arte, che è un riflesso di questo superorganismo socioculturale.

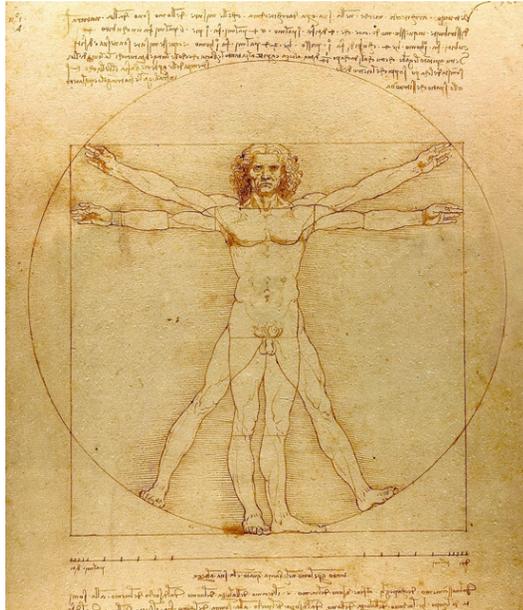
### BioPhiltro

La prima proposta sta ispirata nella natura, la natura dell'uomo, il penta, la qualità del numero 5.



Relazioni Phi nel pentagono. Pablo Isso. [11]

Ho letto per la prima volta di questo meraviglioso numero o proporzione leggendo a Dan Brown, Il Codice Da Vinci. Il stesso numero che ha ispirato Leonardo Da Vinci a creare la sua opera "L'Uomo Vitruviano".



L'Uomo Vitruviano. Leonardo da Vinci.

L'architettura in se stessa è geometria, e in ogni geometria naturale si nasconde una proporzione divina.

Questa proporzione la troviamo in luoghi indispensabili, anche in noi stessi.

Nella mia prima lezione del workshop "Disegno dal Vero e dell'Immaginario" nel Castello del Valentino, i professori hanno proposto da disegnare oppure la faccia dei nostri colleghi o la nostra mano (la mia scelta); personalmente, anche se ho sempre avuto un interesse per l'arte e i suoi codici occulti, fare il ritratto di uno sconosciuto in quel momento non era per me un'abilità, soprattutto dopo aver studiato ingegneria per anni. Disegnare la mia mano dal "Vero" significava osservare e copiare esattamente ciò che vedevo con i miei occhi.

Cosa potevo portare nel mio disegno dall'Immaginario? Quello intuitivo per me in quel momento era ispirarmi dalla natura di questa proporzione. Per quello ho calcolato il disegno di mia mano attraverso queste proporzioni, completando i dettagli da quello che potevo vedere dal vero.

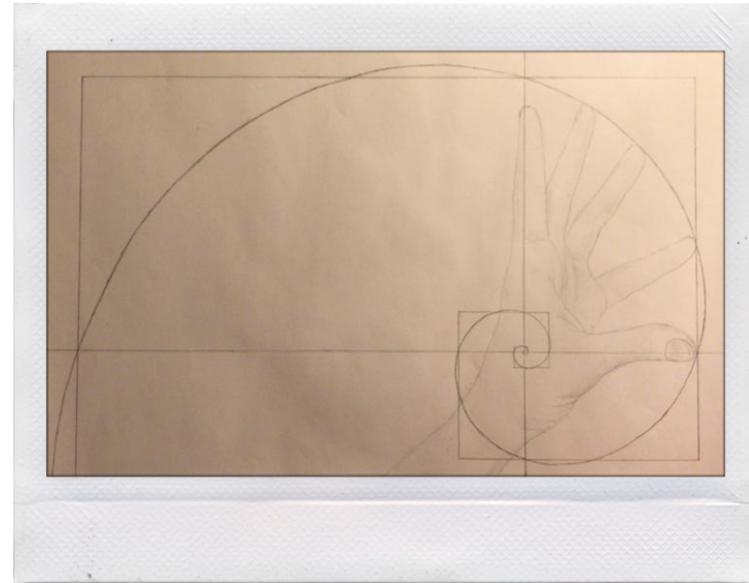


Fig. 25. Disegno prima lezione del Workshop Disegno dal Vero e dell'Immaginario. Dall'autore.

Anche se l'angolo aureo corretto è di  $137^\circ$  al disegnare su un foglio rettangolare, ho deciso di aumentare il raggio della spirale ogni  $90^\circ$  per adattarla allo spazio disponibile.

Da qui, qualche tempo dopo, ho preso questo disegno come riferimento per realizzare il mio primo modello 3D, utilizzando il programma SketchUp, per modellare un biofiltro in forma di lumaca gigante, da cui crescono le piante che puliscono l'acqua. Che dopo i renderizzazioni si presenta come la seguente immagine.



Fig. 26. Render del BioPhiltro. Pia Milesi.



Fig. 27. Render del BioPhiltro. Pia Milesi.

### IcoBiofiltro

La seconda delle proposte architettoniche si è ispirata dall'acqua, utilizzando la geometria con cui Platone la rappresenta, nell'opera Timeus, dove descrive i cinque solidi regolari o perfetti, chiamati anche solidi cosmici. Nel suo dialogo, Platone cita: "Il fuoco è formato da tetraedri; l'aria da ottaedri; l'acqua da icosaedri; la terra da cubi; e poiché una quinta forma è ancora possibile, Dio ha usato questa, il dodecaedro pentagonale, per servire come limite del mondo".

Questa geometria è considerata sacra e viene utilizzata per rappresentare, ad esempio, i chakra delle persone.

L'icosaedro è la geometria che rappresenta l'acqua, il chakra sessuale, la nota musicale Re, il colore arancione e tutti i frattali ritmici di questa frequenza, della vibrazione universale.

Per questo motivo si propone un biofiltro a base pentagonale, che funge da base per un duomo icosaedrico, da materializzare ad esempio con il bambù.



Fig. 28. Render Icobiofiltro. Arc. Pia Milesi



Fig. 29. Render Icobiofiltro, visto da sopra Arc. Pia Milesi

Che concettualmente sia il sistema primario che il terziario sono sottoterra, Ed è il sistema secondario quello che si vede come risultato architettonico, ma funzionale, come si capisce dello schema:

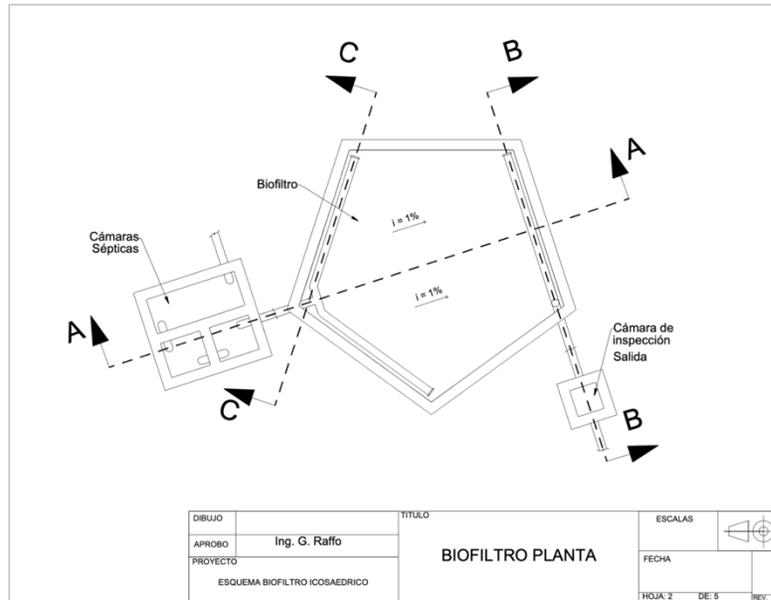


Fig. 30. Render Schema Icobiofiltro. Arc. Pia Milesi

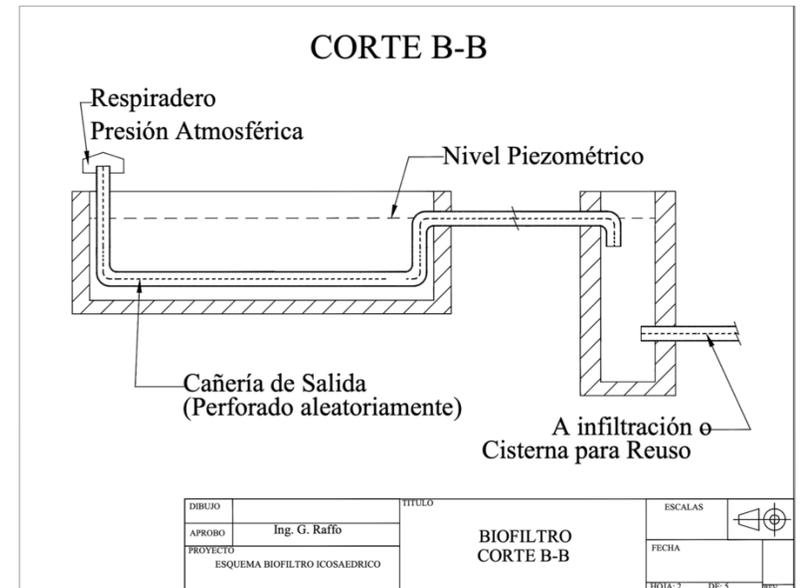
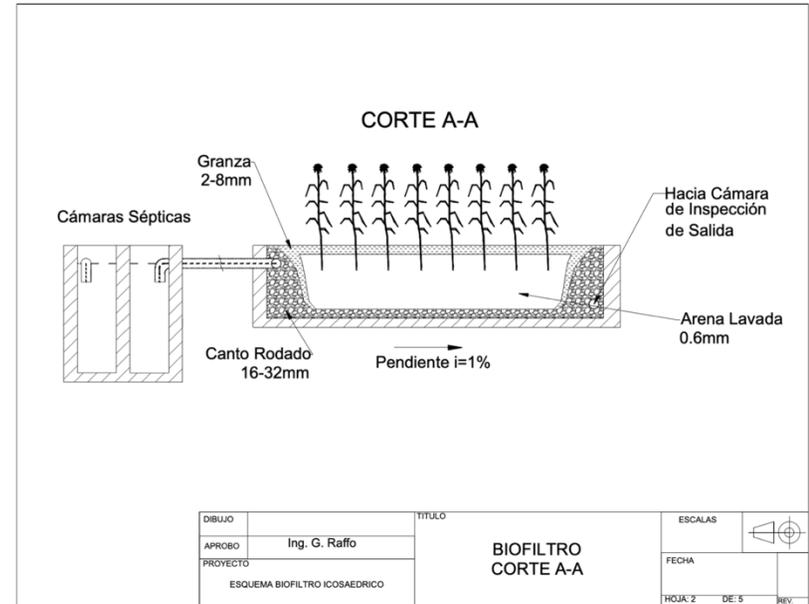
Vi condivido i piani del IcoBiofiltro, in modo che chiunque si senta ispirato da questi disegni possa usarli per pulire le sue proprie acque, poche cose mi farebbero sentire davvero felice.

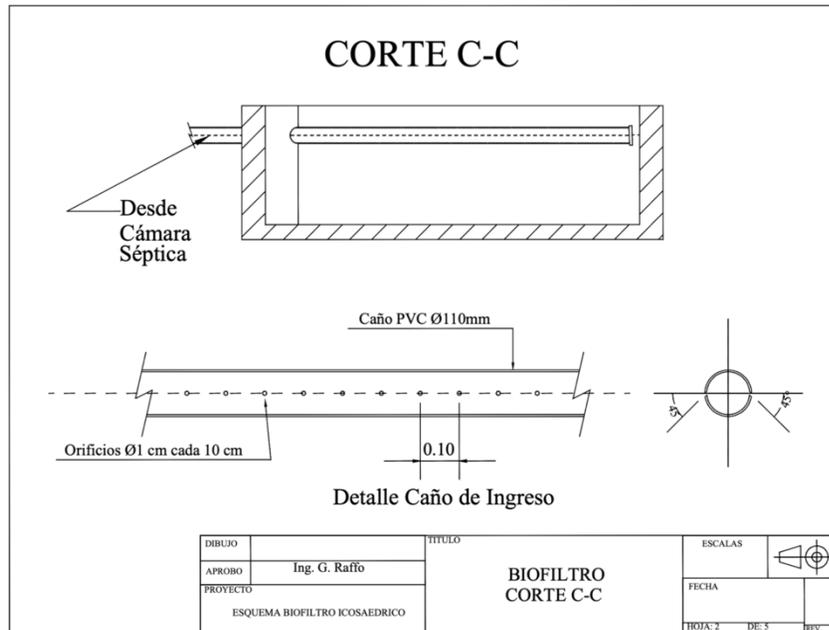
La sua materializzazione consiste in un biofiltro a base pentagonale che permette la costruzione di una trave perimetrale sopra l'ultima fila di mattoni, oppure può essere materializzato con una membrana plastica contenuta da una trave pentagonale, sulla quale si può costruire la struttura del duomo icosaedrico.

Il funzionamento del biofiltro non dipende dalla geometria, l'importante è garantire una circolazione trasversale su tutta la superficie del biofiltro.



Plano conceptual





Piani IcoBiofiltro in spagnolo, da mio fratello gemello, il Ing. German Raffo.

## 9. Alcune Riflessioni sull'Acqua

Mi piacerebbe concludere citando a Masaru Emoto [12], che è andato ancora più lontano studiando l'acqua. Lui credeva che l'acqua potesse essere influenzata da processi non fisici.

Quindi ha messo un bicchiere d'acqua al centro con persone di tutte le età in cerchio, e tutti hanno iniziato a dirgli parole orribili, con le peggiori energie. Poi ha rimosso il bicchiere e ne ha messo un altro, dove tutti hanno iniziato a dirgli cose belle con tutto l'amore che avevano.

Poi congelò queste acque e con un microscopio le fotografò mentre si cristallizzavano. L'acqua che aveva ricevuto le energie negative non ha formato alcun cristallo, mentre quella che ha ricevuto parole gentili e amore si è cristallizzata armoniosamente.

Questo lo portò a pensare che l'acqua trasporta le informazioni a cui è esposta.

Così ha continuato i suoi esperimenti esponendo l'acqua a diversi stimoli, come pensieri, parole scritte su foglietti di carta, mantra buddisti, fotografie, musica, tra altri.

Alcune hanno adottato una struttura di cristallizzazione armoniosa che, in geometria, comunicava la natura del messaggio di ogni stimolo.



Fig. 31. Fotografia di cristallo formato d'acqua esposta alle parole amore e gratitudine, scritte. Masaru Emoto.[12]

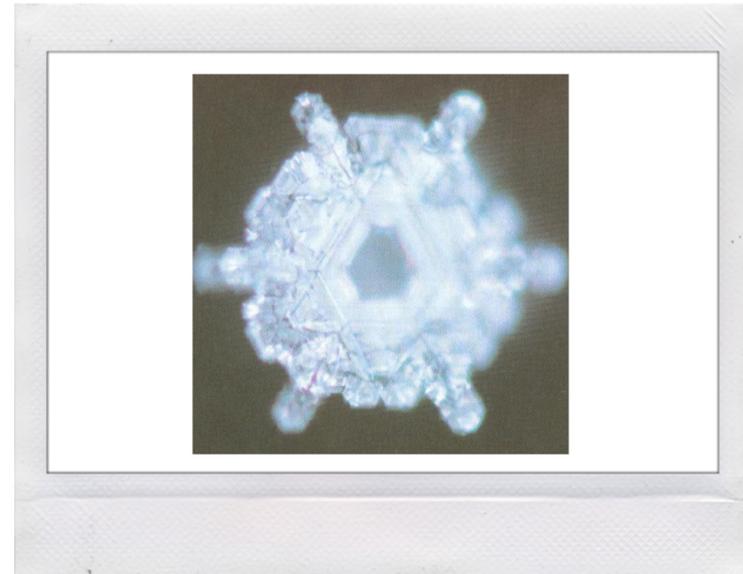


Fig. 32. Cristallo formato dall'acqua che è stato fatto suonare per la canzone Yesterday dei Beatles. Masaru Emoto[12]

Se tutto è in uno stato di vibrazione, significa che tutto crea suoni. Non significa che sentiamo tutti i suoni.

L'orecchio umano li sente tra i 15 e i 20.000 Hertz.

E mentre il suono viene creato, c'è un ascoltatore principale che sembra ricevere tutti i suoni: l'acqua.

Pensate al fatto che la musica influisce sulla formazione dei cristalli e può avere risultati completamente diversi a seconda delle parole pronunciate o scritte che vengono mostrate all'acqua.

Anche in questo caso, la risposta è che tutto vibra. L'acqua, così sensibile alle frequenze uniche emesse dalla realtà, riflette il mondo esterno in modo essenziale ed efficace.

Un giorno, per caso, ho aperto un libro e ciò che ho letto in quel libro ha avuto un significato completamente diverso per me, perché il mio cuore era aperto e ricettivo al messaggio.

Se sapete che qualcosa è possibile nel vostro cuore, lo è davvero. Lo rendiamo possibile attraverso la volontà. Ciò che immaginiamo nella nostra mente diventa la nostra realtà. Questa è una delle cose che ho imparato dall'acqua.

Conoscere l'acqua è come scoprire il funzionamento del cosmo e i cristalli rivelati dall'acqua come portali per altre dimensioni. Continuando i suoi esperimenti con le fotografie di cristalli, scopriva di essere vicino a salire le scale che portano a comprendere le profonde verità del cosmo.

Ricordo una fotografia in particolare. Il cristallo più bello e delicato che avesse mai visto, formato dalle parole amore e gratitudine.

Masaru Emoto dice che "il corpo medio è composto per il 70% di acqua.

Da feti siamo al 99% di acqua. Quando nasciamo, siamo al 90% di acqua e quando raggiungiamo l'età adulta, al 70%. Se moriamo in età avanzata, probabilmente saremo circa il 50% di acqua. In altre parole, per tutta la vita, esistiamo principalmente come acqua." *trad. it.* [12]

Emoto ha studiato l'acqua per molti anni e la scoperta che l'acqua può copiare le informazioni ha rotto i paradigmi per me.

"L'acqua di un fiume rimane pura perché è in movimento. Quando l'acqua ristagna, muore. Pertanto, l'acqua deve essere in costante circolazione. L'acqua - o sangue - nel corpo delle persone malate è spesso stagnante. Quando il sangue smette di circolare, il corpo comincia a deteriorarsi e se il sangue nel cervello si ferma, la vita può essere in pericolo." *trad. it.* [12]

Ma perché il sangue ristagna? Possiamo vedere questo problema come un ristagno di emozioni.

Quando le emozioni fluiscono in tutto il corpo, si prova un senso di gioia che porta alla salute fisica.

Muoversi, cambiare, fluire: questo è il senso della vita.

Ed è davvero affascinante se ricordiamo che il 70% del nostro corpo è costituito di acqua.

~ Se i pensieri possono fare questo all'acqua, immagina cosa possono fare i nostri pensieri a noi stessi.



Fig. 33. Cristallo formato per acqua che si ha esposta alla parola

**Grazie!**

Dino Raffo

## Appendice

Table di portate ad utilizzare secondo il METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. [3]

**TABLA 2-1**

Valores típicos de los usos públicos de agua en los Estados Unidos<sup>a</sup>

Uso	Caudal (l/ha·día)		
	Intervalo	Media	Porcentaje respecto al caudal medio
Doméstico	150- 490	225	36,4
Industrial (no doméstico)	40- 380	265	42,4
Servicio público	20- 75	40	6,0
Pérdidas y fugas	40- 150	95	15,2
	250-1.095	625	100,0

**TABLA 2-5**

Espacios recreacionales: Valores típicos de los consumos<sup>a,b</sup>

Usuario	Unidad	Caudal (l/unidad·día)	
		Intervalo	Valor típico
Apartamento, zona turística	Persona	190-265	225
Bolera	Pista	570-950	760
Campamento			
Excursionista	Persona	55-110	95
Para niños, lavabos comunitarios	Persona	130-190	170
De día, sin comidas	Persona	40-75	55
De día, con comidas	Persona	30-70	50
De lujo, baño privado	Persona	280-380	320
Caravana, roulotte	Caravana	280-570	470
Zona de acampada, desarrollada	Persona	75-150	115
Club de campo	Socio presente	225-470	380
	Empleado	40-55	50
Dormitorio, barracón	Persona	75-170	130
Recinto ferial	Visitante	5-7	10
Zona de picnic, con lavabos	Visitante	20-40	30
Piscinas y playas	Cliente	20-55	40
	Empleado	30-55	40
Centro de visitas	Visitante	15-30	20

<sup>a</sup> Adaptado parcialmente de la bibliografía [7] y [8].

<sup>b</sup> Salvo que se especifique expresamente, se supone que las instalaciones están dotadas de suministro de agua, retretes y lavabos

**TABLA 2-9**

Zonas residenciales: Caudales de agua residual típicos<sup>a</sup>

Fuente	Unidad	Caudal (l/unidad·día)	
		Intervalo	Valor típico
Apartamento			
Alto standing	Persona	132-280	190
Nivel medio	Persona	198-300	245
Hotel	Cliente	115-210	170
Residencia individual			
Vivienda media	Persona	170-340	265
Vivienda clase alta	Persona	225-380	300
Vivienda de lujo	Persona	280-570	360
Vivienda antigua	Persona	115-225	170
Segunda residencia	Persona	95-190	150
Motel			
Con cocina	Unidad	340-680	380
Sin cocina	Unidad	285-570	360
Zona caravaning	Persona	115-190	150

<sup>a</sup> Adaptado parcialmente de la bibliografía [7].

TABLA 2-10

Establecimientos comerciales: Caudales de aguas residuales típicos<sup>a</sup>

Fuente	Unidad	Caudal (m <sup>3</sup> /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Aeropuerto	Pasajero	8-15	11
Estación de servicio	Coche servido	25-50	40
	Empleado	35-55	45
Bar	Cliente	5-20	10
	Empleado	40-60	50
Grandes almacenes	Lavabo	1.500-2.250	1.900
	Empleado	30-45	40
Hotel	Cliente	150-210	180
	Empleado	25-50	40
Edificio industrial (sólo aguas sanitarias)	Empleado	25-60	50
	Lavadora	1.700-2.500	2.100
Lavandería (self-service)	Lavado	170-210	190
	Empleado	25-60	50
Oficina	Empleado	25-60	50
Restaurante	Comida	8-15	10
Centro comercial	Aparcamiento	4-8	8
	Empleado	25-50	40

<sup>a</sup> Adaptado parcialmente de la bibliografía [2].

TABLA 2-11

Centros institucionales: Caudales de agua residual típicos<sup>a</sup>

Fuente	Unidad	Caudal (m <sup>3</sup> /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Hospital médico	Cama	470-900	625
	Empleado	20-55	40
Hospital psiquiátrico	Cama	285-530	380
	Empleado	20-55	40
Prisión	Recluso	285-570	435
	Empleado	20-55	40
Asilo	Residente	190-455	320
Colegio, diurno	Con cafetería, gimnasio y duchas	55-115	95
	Sólo con cafetería	40-75	55
	Sin cafetería ni gimnasio	20-65	40
Colegio, internado	Estudiante	190-380	285

<sup>a</sup> Adaptado parcialmente de la bibliografía [2].

TABLA 2-11

Centros institucionales: Caudales de agua residual típicos<sup>a</sup>

Fuente	Unidad	Caudal (m <sup>3</sup> /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Hospital médico	Cama	470-900	625
	Empleado	20-55	40
Hospital psiquiátrico	Cama	285-530	380
	Empleado	20-55	40
Prisión	Recluso	285-570	435
	Empleado	20-55	40
Asilo	Residente	190-455	320
Colegio, diurno	Con cafetería, gimnasio y duchas	55-115	95
	Sólo con cafetería	40-75	55
	Sin cafetería ni gimnasio	20-65	40
Colegio, internado	Estudiante	190-380	285

<sup>a</sup> Adaptado parcialmente de la bibliografía [2].

TABLA 2-12

Centros de recreo: Caudales de aguas residuales típicos<sup>a</sup>

Usuario	Unidad	Caudal (m <sup>3</sup> /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Apartamento, zona turística	Persona	190-265	225
Refugio, zona turística	Persona	30-190	150
	Cliente	4-10	8
Cafetería	Empleado	30-45	40
	Persona	75-150	115
Zona de acampada, desarrollada	Asiento	45-95	75
Bar	Socio presente	225-490	380
	Empleado	40-55	50
Club de campo	Persona	40-55	50
	Por comida	15-40	26
Campamento de día, sin comidas	Persona	75-190	150
Comedor	Persona	75-190	150
Dormitorio, barracón	Persona	75-190	150
Hotel, zona turística	Cliente	150-225	190
	Cliente	4-15	11
Tienda, zona turística	Empleado	30-45	40
	Empleado	30-45	40
Piscina	Usuario	20-45	40
	Empleado	30-45	40
Cine	Butaca	8-15	10
Centro de visitas	Visitante	15-30	20

<sup>a</sup> Adaptado parcialmente de la bibliografía [7].

---

## Bibliografía

1. WWAP, 2017.
2. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.
3. METCALF & EDDY, INC (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Editorial McGraw-Hill.
4. thinktim.mx
5. EPA (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residua- les Humedales de flujo subsuperficial. Ed. Agencia de Protec- ción Ambiental de EE.UU.
6. Sherwood C. Reed. Natural Systems for Waste Management and Treatment. McGraw-Hill Inc. United States, 1988.
7. THEWAVEORG.com
8. Informe Aplicación de tecnología EM como medida de mitigación de Microcystis sp. en muestras del embalse San Roque, provincia de Córdoba. LABORATORIO DE HIDRÁULICA-UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. Diciembre, 2023.
9. Higa, Teruo. Una Revolución Para Salvar la Tierra. EM JAPAN TECHNOLOGY ARGENTINA S.A. Cordoba, Argentina. Octubre de 2006. inecol.mx
10. inecol.mx
11. Geometría Universal y las dinámicas del existir, Pablo Isso, Argentina. Marzo 2020.
12. Emoto, Masaru. Los Mensajes Ocultos del Agua, Grupo Caz, Mexico, DF, Mayo de 2005.