

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA
FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE, ARCHITETTURA, TERRITORIO, AMBIENTE E MATEMATICA



Dottorato di Ricerca in
**METODOLOGIE E TECNICHE APPROPRIATE NELLA COOPERAZIONE
INTERNAZIONALE ALLO SVILUPPO**

SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE: ICAR 03 Ingegneria Sanitaria-Ambientale

CICLO XXV

**VALUTAZIONE DELLA FITODEPURAZIONE E FILTRAZIONE
ANAEROBICA COME TECNICHE APPROPRIATE PER IL
TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE IN VENEZUELA**

Dottorando:
FRANCO HERNAN GOMEZ TOVAR

Relatore:
Dott. Ing. SABRINA SORLINI

Coordinatore del dottorato:
Prof. CARLO COLLIVIGNARELLI

Esame finale: febbraio 2013

*Con todo el carino y el amor;
este trabajo es dedicado a la memoria
de Nubia Sther Tovar
(1948-2003)*

INDICE

	Pag.
RIASSUNTO – SUMMARY	7
INTRODUZIONE GENERALE	8
OBIETTIVO GENERALE	10
OBIETTIVI SPECIFICI	10

(REVIEW BIBLIOGRAFICA)

CAPITOLO I. GESTIONE E TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE	11
1.1 INTRODUZIONE	11
1.2 LA GESTIONE DELLE ACQUE GRIGIE	11
1.2.1 Le acque grigie nei paesi a risorse limitate	11
1.2.1.1 Aspetti quantitativi	12
1.2.1.2 Aspetti qualitativi	13
1.2.2 Aspetti normativi sulla gestione delle acque grigie	17
1.3 TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE	21
1.3.1 Tecnologie di trattamento e smaltimento	21
1.3.1.1 Trattamenti primari	21
1.3.1.2 Trattamenti secondari	26
1.3.1.3 Smaltimento	40
1.3.1.4 Riutilizzo	41
1.5 CASI APPLICATIVI	43
1.6 CONCLUSIONI	49

CASO STUDIO “CIUDAD GUAYANA” IN VENEZUELA

CAPITOLO II. INQUADRAMENTO AMBIENTALE E SCELTA DELLE TECNOLOGIE APPROPRIATE	50
2.1. INTRODUZIONE	50
2.2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E AMBIENTALE DI CIUDAD GUAYANA, VENEZUELA.	50
2.2.1 Inquadramento territoriale	50
2.2.2 Inquadramento ambientale	53
2.2.2.1 Acqua potabile	54
2.2.2.2 Acqua di scarico di tipo nero	56
2.2.2.3 Acqua grigia	58
2.2.2.4 Rifiuti solidi	59
2.3 ANALISI MULTI CRITERIA (AMC) PER LA SCELTA TECNOLOGICA APPROPRIATA PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE	61
2.3.1 Metodo di analisi multi criteria AMC	61
2.3.2 Analisi Multi Criteria per la valutazione del caso studio in Venezuela	63
2.3.2.1 Identificazione e selezione dei criteri	64
2.3.2.2 Aspetti principali nella scelta delle tecnologie applicate	65
2.3.2.3 Soluzione previste per il caso di studio	67
2.3.2.4 Confronto a coppie e normalizzazione del caso studio Venezuela	69
2.3.2.5 Tecnologie di trattamento più appropriate al caso di studio Venezuela	73
2.4. CONCLUSIONI	75

SVILUPPO DEL LAVORO SPERIMENTALE IN ITALIA

CAPITOLO III. PROGETTAZIONE, COSTRUZIONE E SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO DI UN IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE E FILTRAZIONE ANAEROBICA.	76
3.1 INTRODUZIONE	76
3.2 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI FITODEPURAZIONE A FLUSSO ORIZZONTALE	76
3.3 DIMENSIONAMENTO DEL FILTRO ANAEROBICO	83
3.4 MATERIALI E METODI	86
3.4.1 Acque grigie da trattare	87
3.4.2 Impianti, modalità di costruzione, conduzione e piano di monitoraggio	87
3.4.2.1 Prima fase sperimentale in laboratorio	87
3.4.2.2 Seconda fase sperimentale con il secondo impianto di fitodepurazione	99
3.4.3 Parametri, strumentazione e metodologia di analisi	100
3.5 RISULTATI E DISCUSSIONE	104
3.5.1 Risultati Prima fase sperimentale in Italia – Laboratorio di Pavia (dicembre 2011 - aprile 2012)	104
3.5.1.1 Risultati tre piccoli impianti di fitodepurazione	104
3.5.1.2 Risultati secondo impianto di fitodepurazione	105
3.5.1.3 Risultati Filtro anaerobico	108
3.5.2 Risultati seconda fase sperimentale in Italia – condotta sull’impianto pilota di fitodepurazione a Pavia (agosto 2012 - ottobre 2012)	108
3.5.3 Confronto dei risultati ottenuti durante la prima e la seconda sperimentazione in Italia	117
3.6 CONCLUSIONI	119

SVILUPPO DI LAVORO SPERIMENTALE IN VENEZUELA

CAPITOLO IV: COSTRUZIONE E MONITORAGGIO DI UN IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE E FILTRAZIONE ANAEROBICA	120
4.1 INTRODUZIONE	120
4.2 DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI DI TRATTAMENTO	120
4.2.1 Impianto pilota di fitodepurazione in Venezuela	120
4.2.2 Impianto pilota di filtrazione anaerobica in Venezuela	123
4.3 MATERIALI E METODI	123
4.3.1 Produzione di acque grigie	124
4.3.2 Prove di infiltrazione	125
4.3.3 Costruzione dei sistemi di trattamento	126
4.3.4 Punti di campionamento e modalità di raccolta dei campioni	136
4.3.5 Strumentazione analitica	137
4.3.6 Piano di monitoraggio	139
4.4 RISULTATI E DISCUSSIONE	140
4.4.1 Tabelle riassuntive	153
4.5 CONCLUSIONI	156

CAPITOLO V: CONCLUSIONI GENERALI	157
BIBLIOGRAFIA	159
APPENDICE A: QUESTIONARIO – INDAGINE	162
APPENDICE B: RISULTATI INDAGINE QUARTIERE MOSCÚ II	164
<i>RINGRAZIAMENTI</i>	167

VALUTAZIONE DELLA FITODEPURAZIONE E FILTRAZIONE ANAEROBICA COME TECNICHE APPROPRIATE PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE IN VENEZUELA

RIASSUNTO

Questa ricerca offre un'analisi per una gestione ambientale appropriata delle acque grigie di Moscu II, un quartiere periferico del settore San Felix della città di Ciudad Guayana in Venezuela, dove l'inadeguata gestione di queste acque ha un elevato impatto sulla salute pubblica e sull'ambiente. La ricerca è iniziata alla fine del 2010, con un inquadramento territoriale e ambientale del quartiere e lo studio delle tecnologie più appropriate che, applicando la metodologia di analisi multi criteria AMC, sono risultate essere la fitodepurazione e la filtrazione anaerobica. In seguito a una fase sperimentale in Italia, la tecnologia è stata implementata in Venezuela ed è iniziato il monitoraggio della qualità dell'acqua pre e post-trattamento attraverso analisi fisico-chimiche e microbiologiche. Il lavoro è stato sviluppato dal CeTAmb (Centro di documentazione e ricerca sulle tecnologie appropriate per la gestione dell'ambiente nei Paesi in Via di Sviluppo) dell'Università degli Studi di Brescia, in collaborazione con l'ONG italiana Servizio Volontario Internazionale SVI.

La ricerca analizza due sistemi di trattamento appropriato, che consentano alle famiglie a basso reddito, il trattamento di acque grigie, garantendo anche la sostenibilità economica; cioè è reso possibile utilizzando materiali e piante localmente disponibili. Dai risultati ottenuti si evince che in seguito al trattamento tali acque sono conformi ai limiti previsti dalla normativa ambientale venezuelana, e quindi possono essere riutilizzate dalle utenze domestiche per la pulizia della casa, l'irrigazione di piccoli orti o giardini di casa.

SUMMARY

This research provides an analysis for the appropriate environmental management of the greywater in the neighborhood of Moscu II, a district of San Felix (Ciudad Guayana, Venezuela), where the inadequate management of these wastewaters has a high impact on the public health and the environment. The experimental study began at the end of 2010, with an environmental and territorial framework of the neighborhood and the choice of the most appropriate technology (biofilter and anaerobic filter). After the experimental phase in Italy, the technology was implemented in Venezuela and a monitoring phase of the physical-chemical and microbiological quality of the water treated was initiated. This study has been developed by CeTAmb (University of Brescia) with the technical and financial support of the Italian NGO SVI.

The investigation analyses two appropriate water treatment systems, both of which allow for low-income families to treat greywaters using economically viable methods through the use of locally available materials and plants. The results obtained demonstrate that the systems work in accordance with Venezuelan environmental standards, which means they may be reused for the purposes of household cleaning and irrigation of family lots or gardens.

Keywords: Acque grigie; tecnologie appropriate; fitodepurazione; filtrazione anaerobica, Ciudad Guayana, Venezuela.

INTRODUZIONE GENERALE

La presente attività di ricerca è stata sviluppata all'interno di un progetto di cooperazione internazionale in Venezuela, coordinato dal Servizio Volontario Internazionale (SVI)¹, con il coinvolgimento del CeTAmb (Centro di documentazione e ricerca sulle tecnologie appropriate per la gestione dell'ambiente nei Paesi in Via di Sviluppo)². In particolare il progetto, dal titolo "Aprender, participar y cambiar", di durata pari a 3 anni (dal 2010 al 2012), ha avuto lo scopo di migliorare la qualità dell'ambiente e delle condizioni di vita della popolazione del quartiere Moscu II. Nel progetto sono stati coinvolti partner locali, come il CFG (Centro de Formación Guayana) e la MTA (Mesa Técnica del Agua) del quartiere Moscu II. Il CeTAmb ha coinvolto uno studente del Dottorato di Ricerca in "Metodologie e tecniche appropriate nella cooperazione internazionale allo sviluppo" presso l'Università degli Studi di Brescia, (autore della presente tesi di Dottorato) e due studenti della Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio della Università degli Studi di Pavia.

Nel corso della fase preliminare d'indagine del quartiere periferico di Moscu II di Ciudad Guayana in Venezuela, volta a valutare le problematiche ambientali maggiormente sentite dalla comunità, è emersa l'esigenza di studiare ed implementare soluzioni appropriate per una corretta gestione delle acque grigie nel quartiere. La corretta gestione di queste acque acquisisce sempre più importanza nelle aree periferiche delle grandi città e delle aree rurali dei Paesi in Via di Sviluppo PVS, dove è comune trovare situazioni in cui l'acqua grigia viene scaricata direttamente nelle strade urbane, determinando un forte impatto sull'ambiente e sulla salute delle persone.

L'attività di ricerca, iniziata nel secondo semestre del 2010, si è sviluppata in sette fasi differenti così articolata in ordine temporale:

1. Prima missione di lavoro in Ciudad Guayana (Venezuela) per fare un inquadramento territoriale - ambientale ed analizzare il contesto presente nel quartiere Moscu II e nella città. Tale attività è stata svolta tramite questionari rivolti alla popolazione, agli enti locali, associazioni, Università, etc.. Attività svolta nel secondo semestre 2010, (Capitolo II).
2. Studio delle tecnologie appropriate e progettazione di un trattamento alla scala di laboratorio e alla scala pilota in loco, (Capitolo I), partendo dai risultati di un'analisi multi criteria AMC, sulle diverse tecnologie appropriate al contesto d'intervento, al fine di definire una proposta tecnica sostenibile. I sistemi di trattamento individuati sono stati la fitodepurazione e il filtro anaerobico. Attività svolta nel primo semestre 2011, (Capitolo II).

¹ Servizio Volontario Internazionale (SVI), organizzazione senza scopo di lucro con sede a Brescia, che opera in progetti di sviluppo nel sud del mondo con l'obiettivo di migliorare le condizioni di vita della popolazione, in un'ottica di collaborazione e dialogo interculturale. Lo SVI è presente in Uganda, Burundi, Kenya, Repubblica Democratica del Congo, Senegal, Zambia, Brasile, Perù e Venezuela. Da molti anni è presente a Ciudad Guayana (Venezuela), dove opera con diversi volontari in organizzazioni comunitarie di alcuni quartieri popolari della città. <http://www.svibrescia.it>

² CeTAmb (Centro di documentazione e ricerca sulle tecnologie appropriate per la gestione dell'ambiente nei Paesi in Via di Sviluppo), presso l'Università degli Studi di Brescia, attivo dal 2000 in progetti di cooperazioni allo sviluppo su tematiche ambientali quali la gestione dell'acqua potabile, acque di scarico, rifiuti solidi, energie rinnovabili nei paesi a risorse limitate <http://www.ing.unibs.it/~cetamb/>

3. Sviluppo dell'attività sperimentale in Italia: progettazione, costruzione e sperimentazione di un impianto di fitodepurazione e filtrazione anaerobica presso il Laboratorio di "Processi e tecnologie di trattamento di acque e rifiuti", del Dipartimento di Idraulica dell'Università degli Studi di Pavia. Analisi delle caratteristiche fisico-chimiche e microbiologiche dell'acqua grigia per individuare le specie di piante che garantissero le rese depurative maggiori. Sperimentazione condotta nel primo semestre 2012, (Capitolo III).
4. Sviluppo dell'attività sperimentale in Venezuela: costruzione degli impianti pilota sperimentali di fitodepurazione a flusso orizzontale e di un filtro anaerobico a flusso ascendente. La fase sperimentale si è sviluppata con un primo monitoraggio che riguarda analisi fisico-chimiche e microbiologiche delle acque grigie. Attività svolta nel primo semestre 2012, (Capitolo IV).
5. Analisi dei risultati dei primi monitoraggi sia in Italia che in Venezuela ed avvio in Italia della seconda fase sperimentale di analisi chimiche e microbiologiche delle acque grigie presso il Laboratorio di "Processi e tecnologie di trattamento di acque e rifiuti" del Dipartimento di Idraulica dell'Università degli Studi di Pavia. Attività svolta nel secondo semestre 2012, (Capitolo III).
6. Avvio in Venezuela della seconda fase sperimentale d'analisi chimiche e microbiologiche delle acque grigie per valutare i miglioramenti depurativi e il rispetto dei limiti normativi dei sistemi di trattamento realizzati nella fase 4, a distanza di cinque mesi dall'implementazione. Attività svolta nel secondo semestre 2012, (Capitolo IV).
7. Realizzazione, in Venezuela, del sistema di riutilizzo dell'acqua trattata (orto sperimentale) e costruzione di un nuovo sistema di fitodepurazione a costo zero con l'utilizzo di materiali riciclati. Attività svolta nel secondo semestre 2012. (Capitolo IV).

OBIETTIVO GENERALE

La presente ricerca offre un'analisi e un intervento di trattamento appropriato per la soluzione dell'inadeguata gestione delle acque reflue (grigie) e le sue conseguenze sull'ambiente e sulla salute della popolazione, in un quartiere periferico di Ciudad Guayana in Venezuela. L'analisi è stata condotta utilizzando metodologie e tecniche scientifiche appropriate al contesto del caso studio, in particolare per: l'inquadramento territoriale ed ambientale, la scelta tecnologica ed, infine, le fasi sperimentali per il monitoraggio degli impianti di fitodepurazione e filtrazione anaerobica, questi ultimi testati sia in Italia che in Venezuela.

OBIETTIVI SPECIFICI

- ✓ Realizzare un inquadramento territoriale ed ambientale orientato ad analizzare il contesto presente nel quartiere Moscu II di Ciudad Guayana.
- ✓ Studiare tecnologie appropriate e progettare un trattamento a scala di laboratorio e pilota partendo dai risultati di un'analisi multi criteria (AMC), basata sulle diverse tecnologie appropriate, al fine di definire una proposta tecnica sostenibile.
- ✓ Sviluppare un'attività sperimentale, sia in Italia che in Venezuela, monitorando due differenti tipologie di trattamento dell'acque grigie: un sistema di fitodepurazione e un processo di filtrazione anaerobica.
- ✓ Valutare l'apprezzamento dei sistemi analizzati da parte della popolazione del quartiere e studiare scenari per il riutilizzo dell'acqua trattata.

(REVIEW BIBLIOGRAFICA)
CAPITOLO I. GESTIONE E TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE

1.1 INTRODUZIONE

La prima fase di questa tesi tratterà una review bibliografica sulla gestione e trattamento delle acque grigie, per offrire un quadro generale della ricerca e sviluppi di metodologie e tecnologie appropriate per la gestione ambientale di queste acque; informazione che permetterà di approfondire gli aspetti quantitativi, qualitativi, normativi, le tecnologie di trattamento e smaltimento, ed infine fare menzione di alcuni casi studio più rilevanti.

Questa review bibliografica parte dalla necessità di aggiornamento sulle tipologie di trattamento delle acque grigie, visto che questa è una tematica di ricerca importante soprattutto per la sua applicabilità nei contesti dei Paesi in Via di Sviluppo (PVS), dove tali acque rappresentano il 50-80% del totale delle acque reflue domestiche; inoltre dal punto di vista qualitativo, la contaminazione microbiologica è elevata, provocando problemi legati all'impatto sulla salute, con la diffusione di patologie quali malaria, dengue (i cui vettori sono gli insetti e le zanzare che nascono nelle acque grigie non trattate e stagnate nelle strade) e la diarrea, che è la principale causa di morte infantile nel mondo.

Una gestione adeguata delle acque grigie, invece, permetterebbe una riduzione delle problematiche sanitarie e ambientali appena descritte. Inoltre, un riutilizzo di questa risorsa permetterebbe anche un risparmio di acqua potabile.

1.2 LA GESTIONE DELLE ACQUE GRIGIE

1.2.1 Le acque grigie nei paesi a risorse limitate

Le acque grigie sono acque di scarico domestiche provenienti dalle docce, dai lavandini del bagno, dagli scarichi delle lavatrici e dai lavelli della cucina (Dixon et al., 1999; Eriksson et al., 2002; Ledin et al., 2001; Otterpohl et al., 1997; Ottoson and Stenstrom, 2003); alcuni autori escludono l'acqua originatasi nei lavelli delle cucine, a causa dell'alto contenuto di particelle di cibo solide e alta concentrazione di oli e grassi (Al-Jayyousi, 2003; Christova Boal et al., 1996; Little, 2002; Wilderer, 2004).

Dal punto di vista qualitativo le acque grigie contribuiscono a metà del carico organico ed ad un'alta percentuale del carico di nutrienti sul totale delle acque reflue domestiche. Nei paesi in via di sviluppo (PVS) la gestione inappropriata di queste acque reflue ha un forte impatto sia sull'ambiente naturale, sia sulla sanità pubblica, in quanto non ci si cura del loro alto livello di inquinamento. Nella quasi totalità delle zone periferiche dei PVS e delle aree rurali vi è una generale mancanza di sistemi di raccolta e/o trattamento di queste acque (Morel-Diener, 2006).

Tra i maggiori problemi legati all'impatto sulla salute si ha la diffusione di patologie che vedono gli insetti come vettori (malaria, dengue, ecc) e patologie infantili (diarrea infantile, ecc): ciò è dovuto al fatto che queste acque sono a contatto diretto dei bambini, principalmente mentre loro giocano in strada. La diarrea è, insieme alla polmonite, la principale causa di morte infantile nel mondo con una percentuale maggiore del 15% in India, Congo e Bolivia e del 6% in Venezuela (WHO, 2008). Una gestione adeguata delle acque grigie permetterebbe una riduzione delle

problematiche sanitarie e ambientali viste sopra. Inoltre un riutilizzo di questa risorsa in agricoltura permetterebbe anche un risparmio di acqua potabile e quindi anche un apprezzabile risparmio economico.

1.2.1.1 Aspetti quantitativi

Le acque grigie rappresentano il 50-80% dell'intero scarico domestico (Eriksson et al, 2002), ma possono raggiungere anche il 100% in case dotate di sole latrine a secco (Morel and Diener, 2006). Esse riflettono, quantitativamente e qualitativamente, le attività della famiglia residente, in stretta connessione con le abitudini culturali, le condizioni di vita, il numero di persone, l'età media, i prodotti sanitari utilizzati, ecc. di ogni complesso abitativo. Quantitativamente, il volume di acqua grigia prodotta nei PVS, varia da 70 a 275 L/(ab d) (WHO, 2006).

In alcune aree nei PVS con scarsa presenza d'acqua questo valore può scendere anche a 30 L/(ab d) (es. Giordania, come riportato da Al- Jayyousi, 2003). In altri paesi in via di sviluppo con elevata disponibilità d'acqua il valore può raggiungere anche i 200 L/(ab d), mentre in paesi sviluppati (PI) come Australia e Svizzera i valori si aggirano attorno ai 110-120 L/(ab d) (Helvetas, 2005). Negli USA si raggiungono anche i 200 L/(ab d), mentre nel Nord Europa (in particolare la Svezia) si hanno valori di 110-150 L/(ab d) (WHO, 2006).

In tabella 1.1 vengono riportati alcuni esempi di produzione di acque grigie, raccolti nell'edizione dell'anno 2006 del WHO (World Health Organization).

Location	Greywater production (litres per person per day)	Reference
China, ecological sanitation project	80	EcoSanRes (2005b)
Belgium	85	Bertagial et al. (2005)
Germany	35-65	Panesar & Lange (2001)
Germany, Eco-village Flintenbreite	60	Ridderstolpe (2004)
Germany, Norway and Sweden, new built house area, water conservation	<100	Ridderstolpe (2004); Winblad & Simpson-Hébert (2004)
Norway, ecovillage	81	Kristiansen & Skaarer (1979)
Norway, student dormitories, water conservation	112	Jenssen (2001)
Sweden, range for ecovillages	66-110	Vinnerås et al. (2006)
Sweden, proposed norm	100	Vinnerås et al. (2006)
Sweden, existing norm	150	Vinnerås et al. (2006)
Europe, northern part	110	Lens, Zeeman & Lettinga (2001)
Australia, western part	112	Department of Health (2002)
USA	200	Crites & Tchobanoglous (1998); Bertagial et al. (2005)
Developing regions	20-30	Ridderstolpe (2004); Winblad & Simpson-Hébert (2004)
Range	70-275	Otterpohl (2002)

Tab. 1.1: Esempi di produzione di acqua grigia (WHO, 2006)

La tabella 1.2 riporta un'analisi bibliografica dei quantitativi di acqua grigia generata in diversi paesi.

	Paesi in Via di Sviluppo (PVS)			
	Vietnam ¹	Bangladesh ²	Costa Rica ³	Giordania ⁴
Lavan. L/(ab d)	30	16	27	7
Cucina L/(ab d)	20	13	21	15
Bagno L/(ab d)	60	31	59	28
Tot L/(ab d)	110	60	107	50
	Paesi Industrializzati (PI)			
	Svizzera ⁵	Israele ⁶	Australia ⁷	Italia ⁸
Lavan. L/(ab d)	30	13	34	25
Cucina L/(ab d)	28	30	17	23
Bagno L/(ab d)	52	55	62	52
Tot L/(ab d)	110	98	113	100
¹ Busser (2006); ² Ahmed-Rahman (2003); ³ Dallas (2002); ⁴ Al-Jayyousi (2003); ⁵ Helvetas (2005); ⁶ Morel-Diener (2006); ⁷ Jeppersen-Solley (2002); ⁸ Pircher-Cittiglio (2009)				

Tab. 1.2: Quantità di acque grigie generate espresse in L/(ab d)

1.2.1.2 Aspetti qualitativi

Come per gli aspetti quantitativi, anche la qualità delle acque grigie dipende dal luogo e dagli usi delle famiglie residenti. Nonostante ciò, a specifiche fonti di acqua grigia, corrispondono specifiche caratteristiche chimico-fisiche:

- **Cucina:** contiene residui di cibo, grandi quantità di oli e grassi e un alto contenuto di detersivi per la pulizia dei piatti. È caratterizzata, generalmente, da grandi concentrazioni di nutrienti, solidi sospesi e sali disciolti.
- **Bagno:** questa frazione di acqua grigia, che proviene dagli scarichi del lavandino e della doccia. Contiene sia saponi, shampoo, dentifrici e altri prodotti per la cura personale, sia peli, capelli, grassi. L'acqua grigia originatasi dal bagno può essere contaminata da tracce di urine e feci, a seguito del lavaggio di mani dopo l'uso del wc e, anche, dalla pulizia personale sotto la doccia.
- **Lavatrice:** contiene alte concentrazioni di prodotti chimici (tensioattivi, composti azotati e fosfati, sodio), così come solidi sospesi, oli e grassi solventi, e fibre non biodegradabili dei vestiti. È quasi sempre caratterizzata da un'elevata presenza di patogeni.

Dal punto di vista fisico, i principali parametri da caratterizzare la qualità delle acque grigie domestiche sono:

- **Temperatura:** in generale tra valori elevati, circa 18-30 °C, dovuta all'attività di cucina e di pulizia personale (Morel-Diener, 2006).
- **Solidi sospesi e colloidali:** sono generati da cibo, oli, grassi, capelli, detersivi, ecc., e determinano torbidità e possibili ostruzioni dei sistemi di tubatura, di pompaggio e dei filtri per il trattamento. Le particelle che caratterizzano le maggiori problematiche di intasamento sono le fibre non biodegradabili dei vestiti (Nylon, Polyethylene, ecc). La concentrazione di tali solidi varia da 50 a 300 mg/L, ma può anche raggiungere valori decisamente più alti (Morel e Diener, 2006; Li, 2009).

- **Oli e grassi (O&G):** sono gliceridi di acidi grassi. Hanno la caratteristica di essere più leggeri dell'acqua e di essere insolubili. Gli oli si possono disperdere in acqua sotto forma di emulsioni che sono particolari tipi di sospensioni colloidali di particelle liquide, caratterizzate da un notevole grado di stabilità (Masotti & Verlicchi, 2005). Le acque grigie sono quasi sempre caratterizzate dalla presenza di grandi quantità di oli e grassi provenienti principalmente dalla preparazione di cibi e dal lavaggio dei piatti. Quando le acque grigie si raffreddano, i grassi affiorano in superficie nei serbatoi, ove presenti, posti come pretrattamento per favorirne la separazione tramite flottazione, oppure possono formare in superficie nelle condotte uno strato più denso di grassi e oli; ciò può causare danni o malfunzionamenti fino all'arresto totale dei filtri o dei sistemi di infiltrazione nel terreno.

È perciò fondamentale che le concentrazioni di oli e grassi vengano mantenute sotto un livello accettabile (<30 mg/L, secondo Crites & Tchobanglous, 1998). Il contenuto di oli e grassi dipende fortemente dalle abitudini in cucina delle famiglie. Secondo studi fatti da Al-Jayyousi (2003) in Giordania, e Crites e Tchobanglous (1998) sulle acque di scarico di un ristorante, la concentrazione massima di oli e grassi dovrebbero avere rispettivamente circa 230 mg/L e 1000-2000 mg/L. Christova Boal (1996) ha osservato che la concentrazione di questo parametro nello scarico della lavatrice rientra nel range 8-35 mg/L, mentre in generale nello scarico del bagno si aggira sui 37-78 mg/L.

Dal punto di vista chimico e microbiologico, i principali parametri sono:

- **pH:** è la misura della concentrazione di ioni idrogeno. Per un miglior trattamento di depurazione e per evitare impatti negativi sul suolo e sulle piante, il pH dell'acqua grigia trattata deve aver un range tra 6.5-8.4 (EPA, 2004). Un valore di pH superiore a questo range insieme a un alto valore di alcalinità, potrebbe creare dei problemi alla crescita delle piante, nel caso di un riutilizzo in agricoltura (Morel and Diener, 2006). Comunque, dall'analisi di circa 15 casi di studio diversi, i valori di pH nelle acque grigie risultano quasi sempre all'interno dell'intervallo desiderato (Li, 2009).
- **BOD (Biological Oxygen Demand):** è una misura indiretta della quantità di sostanza organica biodegradabile presente nell'acqua. La concentrazione di BOD dipende dalla quantità d'acqua grigia prodotta e dal tipo di prodotti utilizzati dalla famiglia (detergenti, saponi, olii e grassi). Da letteratura, dove il consumo di acqua è relativamente basso, la concentrazione di BOD risulta più alta. A riguardo Al-Jayyousi (2003) riscontra, nel caso della Giordania, per un consumo di circa 30 L/(ab d) una concentrazione media di BOD di circa 1000 mg/L; mentre Dallas (2004) in uno studio in Costa Rica rileva una concentrazione media di BOD di 167 mg/L per un consumo 107 L/(ab d). Scaricare un'acqua ricca di BOD in un corpo idrico determina problematiche di de-ossigenazione dell'acqua.
- **COD (Chemical Oxygen Demand):** è una misura indiretta della presenza di sostanza organica biodegradabile e non, dell'acqua. Più precisamente è la misura della quantità di ossigeno richiesta per ossidare tutta la sostanza organica. Il rapporto COD/BOD è un buon indicatore della biodegradabilità dell'acqua. Valori del rapporto inferiori a 2-2.5 indicano una buona biodegradabilità del campione (Morel Diener, 2006). In genere per le acque grigie si riscontrano valori di COD

che variano da 100 a 2500 mg/L e rapporti di COD/BOD di circa 1.75-2.5 (Li, 2009); Al-Jayyousi (2003) e Jefferson et al. (2004) aggiungono anche che, per rapporti nel range 2.9-3.6, sia bassa la biodegradabilità dell'acqua grigia. Del Porto e Steinfeld (2000) considerano invece un'acqua grigia facilmente biodegradabile, quando la percentuale di BOD è maggiore del 90% del totale di sostanza organica presente.

- **Fosforo e Azoto:** fosforo e azoto sono i principali nutrienti e giocano un ruolo fondamentale nei processi di trattamento di tipo biologico, nella fertilizzazione delle piante (nel caso di riutilizzo) e rappresentano un potenziale impatto negativo all'ambiente acquatico (fenomeno di eutrofizzazione). Le acque grigie contengono normalmente un minor livello di nutrienti rispetto alle acque provenienti dai servizi igienici. L'azoto in particolar modo risulta aver una concentrazione piuttosto bassa e solo l'acqua grigia proveniente dalla cucina risulta possedere un elevato apporto di sostanze azotate (detergenti, sostanze organiche, ecc.).

Per questo motivo se si vuole utilizzare un processo biologico di trattamento, non risulta conveniente separare le acque grigie della cucina con quelle del bagno e della lavatrice come suggerito da alcuni autori (es. Al- Jayyousi, Christova-Boal, ecc.). Per ottenere un rapporto BOD:N:P ottimale di 100:5:1, adottato nei trattamenti biologici, (Metcalf, 1991) nelle acque grigie, alcuni autori suggeriscono l'aggiunta di azotati da fonti alternative come l'urina (Morel and Diener, 2006). Per quanto riguarda il fosforo, nei paesi dove i detergenti contenenti fosfati sono stati vietati, i valori variano in media da 4 a 14 mg/L (Eriksson, 2002), in altri paesi dove si usano questi detergenti, si hanno valori decisamente superiori. Per esempio in Giordania sono stati misurati valori fino a 170 mg/L (Al- Jayyousi, 2003).

- **Conducibilità (salinità):** l'acqua grigia contiene sali, in particolar modo di sottoforma di cloruro di sodio (comune sale da cucina) ma anche da saponi a base di sodio e detergenti azotati. La salinità viene misurata come conducibilità elettrica di tutti gli ioni disciolti nell'acqua sia di carica positiva che negativa (Ca^{++} , Na^+ , NO_3^- , ecc). La salinità nelle acque grigie non è generalmente una problematica, lo diventa però se questa acqua viene riutilizzata in agricoltura. Essa danneggia la produttività del suolo in diversi modi tra cui modificando l'osmosi delle radici delle piante e interferendo nell'assorbimento dei principali nutrienti come potassio e nitrati (WHO, 2006). Secondo le linee guida della World Health Organisation, una conducibilità inferiore a 3000 $\mu S/cm$ non dovrebbe determinare problematiche nel caso di un riutilizzo in agricoltura e da letteratura per le acque grigie i valori variano da 300 a 1500 $\mu S/cm$ (Morel e Diener 2006).
- **Microbiologico:** l'acqua grigia, essendo un'acqua di rifiuto, è caratterizzata dalla presenza di microrganismi patogeni. Questi hanno provenienza fecale dalle persone e derivano in genere dal lavaggio delle mani, lavatrice, dal lavaggio di bambini dopo la defecazione o cambio pannolino. Altri patogeni possono derivare dal lavaggio di vegetali e carne. La contaminazione microbiologica, viene misurata da indicatori fecali e in particolar modo dalla concentrazione di batteri, coliformi totali, fecali o *Esterichia Coli* è possibile conoscere il grado di pericolo sanitario riscontrabile. La concentrazione media di coliformi fecali è tra $10^3 - 10^6$ cfu/100mL (Li, 2009), ma in alcuni casi come Costa Rica (Dallas, 2005) e Giordania (Al- Jayyousi, 2003), i valori raggiungono anche 10^7-10^8 cfu/100mL.

I batteri che determinano il maggior pericolo sono quelli con una maggiore resistenza alla disinfezione, quali *Cryptosporidium* e *Giardinia*, poi il *Clostridium*, che si moltiplica tramite spore, e la *Legionella* (Eriksson et al. 2001). La seguente tabella 1.3 rappresenta le concentrazioni microbiologiche delle acque grigie con le diverse provenienze domestiche.

Origine	Coliformi totali (CFU/100ml)
Bagno	$1.9 \cdot 10^2 - 1.5 \cdot 10^5$
Cucina	$0.63 \cdot 10^2 - 7.9 \cdot 10^3$
Lavatrice	10^5
Misto	$7.9 \cdot 10^7$

Tab. 1.3: Concentrazione microbiologica acque grigie da diverse provenienze (WHO, 2006)

Dalla tabella precedente si nota come la principale fonte di inquinamento microbiologico sia proveniente dal bagno. Questo è facilmente deducibile dal fatto che tale fonte d'acqua è utilizzata per l'igiene personale degli utenti. Nella tabella 1.4 sono riportate, invece, le caratteristiche fisico-chimiche misurate in acque grigie analizzate, da vari autori, in lavori e progetti di diversi paesi. Si tratta quindi di una tabella più generale.

	Australia ¹	Israele ²	Giordania ³	Colombia ⁴	Malesia ⁵	Germania ⁶
Q (l/p/d)	113	100	30	130	-	-
pH	6.6-8.7	6.5 - 8.2	6.7 - 8.3	6.6 - 7.1	-	-
EC (µS/cm)	325 - 1140	1040 - 2721	475 - 1135	-	-	-
COD (mg/l)	-	702 - 984	-	254 - 576	212	-
BOD (mg/l)	90 - 290	280 - 688	275 - 2287	230 - 425	128	73-142
TSS (mg/l)	45 - 330	85 - 285	316	-	75	-
TN (mg/l)	2.1 - 31.5	25 - 45	-	40.1 - 79.9	37	8.7-13.1
TP (mg/l)	0.6 - 27.3	17 - 27	-	3.4 - 5.9	2.4	6.8-9.2
Fecal C. (CFU/100ml)	$1.73 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^7$	$1.8 \cdot 10^7$	$6.3 \cdot 10^5$	$10^4 - 10^6$

¹ Jeppersen-Solley (2002); ² Morel-Diener (2006); ³ Al-Jayyousi (2003); ⁴ Madera et al (2001); ⁵ Jensen et al (2005); ⁶ Li (2009)

Tab.1.4: Caratteristiche fisico-chimiche di acque grigie provenienti da diversi paesi (provenienza bibliografica da vari autori)

Il tipo di approvvigionamento dell'acqua potabile e lo stile di vita, creano un maggior impatto rispetto alla localizzazione. Di seguito viene invece riportata, in tabella 1.5, un lavoro di revisione della letteratura in ambito di acque grigie, condotto da Li, 2009. Tale lavoro raccoglie le analisi e le sperimentazioni condotte da decine di autori in ambito di acque grigie. Sono inoltre divise per provenienza.

	Bagno	Lavanderia	Cucina	Misto
pH	6.4 - 8.1	7.1 - 10	5.9 - 7.4	6.3 - 8.1
TSS (mg/l)	7 - 505	68 - 465	134 - 1300	25 - 184
COD (mg/l)	100 - 633	231 - 2950	26 - 2050	100 - 700
BOD (mg/l)	50 - 300	48 - 472	536 - 1460	47 - 466
TN (mg/l)	3.6 - 19.4	1.1 - 40.3	11.4 - 74	1.7 - 34.3
TP (mg/l)	0.11 - 48.8	0 - 171	1.9 - 7.4	0.11 - 22.8
Faecal C. (CFU/100ml)	0 - $3.4 \cdot 10^5$	50 - $1.4 \cdot 10^3$	-	0.1 - $1.5 \cdot 10^8$

Tab. 1.5: Raccolta analitica di diverse sperimentazioni sulle acque grigie (Li, 2009)

1.2.2 Aspetti normativi sulla gestione delle acque grigie

Per quanto riguarda l'aspetto di specifiche normative esclusive per il trattamento delle acque grigie, queste sono maggiormente presenti in nazioni dove da tempo si predilige l'utilizzo di sistemi fognari separati piuttosto che misti o specifiche linee guida e leggi per piccole comunità, centri turistici (hotel, campeggi, ecc) e per case isolate (case di campagna, fattorie, case di villeggiatura, ecc). La WHO, nel 2006 ha pubblicato delle linee guida sul trattamento delle acque grigie per il riutilizzo di queste in ambito agricolo. Tale documento rappresenta un lavoro a livello globale molto utile per questa tipologia di studio. Di seguito vengono riportati gli aspetti normativi riguardanti l'Italia, il Venezuela ed altri paesi.

- **Italia**

Nell'ambito normativo italiano la legge quadro in ambito ambientale, D.lgs 152/2006, non dà una definizione di acqua grigia. Essa distingue le acque nere, come acque reflue di origine domestica e industriale, e le acque bianche, cioè quelle di origine meteorica.

Per quanto riguarda il recupero e il riutilizzo delle acque reflue, si fa riferimento in un primo momento al Decreto Ministeriale 185 del 2003, quindi con il D.lgs 152/2006, e il relativo Decreto del 2 maggio 2006 nasce la "regolamentazione delle destinazioni d'uso e dei relativi requisiti di qualità, ai fini della tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche, limitando il prelievo delle acque superficiali e sotterranee, riducendo l'impatto degli scarichi sui corpi idrici recettori e favorendo il risparmio idrico mediante l'utilizzo multiplo delle acque reflue". Il riutilizzo può avvenire in diverse destinazioni d'uso quali irrigue, civili (es. lavaggio strade) e industriali (es. antincendio e lavaggio), il tutto in condizioni di sicurezza ambientale e sanitaria. Nell'ambito del riutilizzo irriguo, civile e industriale il Decreto individua dei limiti all'uscita dall'impianto di recupero. Di seguito sono riportati questi limiti per alcuni principali parametri inquinanti, (tabella 1.6).

Parametro	Limite
pH	6-9.5
TSS (mg/L)	10
BOD (mg/L)	20
COD (mg/L)	100
Ptot (mg/L)	2
Ntot (mg/L)	15
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2
Conducibilità (µS/cm)	3000
Mercurio (mg/L)	0.001
Piombo (mg/L)	0.1
Tensioattivi totali (mg/L)	0.5
E.coli (UFC/100mL)	10 (80% campioni) 100 (max puntuale)
Salmonella	Assente

Tab. 1.6: Limiti per il riutilizzo in agricoltura dei principali parametri inquinanti (D.M. 185/2003)

Per quanto riguarda tecnologie depurative quali lagunaggio e fitodepurazione, i limiti sono meno restrittivi per la matrice batterica, permettendo concentrazioni di 50 UFC/100mL di E.coli (80% dei campioni) e 200 UFC/100mL (massimo puntuale).

- **Venezuela**

La normativa venezuelana di riferimento intitolata “*Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*”, Decreto n°883, dell’11 Ottobre 1995, presenta nel secondo capitolo una classificazione dei tipi di acqua, a cui vengono corrisposti limiti massimi per lo scarico. Di seguito viene riportata la classificazione delle acque contenuta nel Capitolo II, Articolo III:

Tipo 1: acque destinate all’uso domestico e all’uso industriale che richiede acqua potabile per la preparazione o lavorazione di prodotti destinati al consumo umano o che entri a contatto con esso. Le acque del Tipo 1 si suddividono in tre classi:

- Sub-Tipo 1A: acque che dal punto di vista sanitario possono essere rese potabili con la sola aggiunta di un disinfettante;
- Sub-Tipo 1B: acque sottoposte a una filiera di trattamento convenzionale (coagulazione, flocculazione, sedimentazione, filtrazione, clorazione);
- Sub-Tipo 1C: acque che per essere considerate potabili, vengono sottoposte a trattamenti non convenzionali.

Tipo 2: acque destinate a un uso agricolo e per il bestiame. Si suddividono in due classi:

- Sub-Tipo 2A: acque utilizzate nell’irrigazione di vegetali destinati al consumo umano;
- Sub-Tipo 2B: acque utilizzate nell’irrigazione di qualsiasi altro tipo di piante e per il bestiame.

Tipo 3: acque marine destinate alla crescita e allevamento di molluschi consumati crudi.

Tipo 4: acque destinate a balneazione, sport acquatici, pesca sportiva e commerciale.

- Sub-Tipo 4A: acque per il contatto umano totale;
- Sub-Tipo 4B: acque per il contatto umano parziale.

Tipo 5: acque destinate a usi industriali che non richiedono acqua potabile.

Tipo 6: acque destinate alla navigazione e alla produzione di energia.

Tipo 7: Acque destinate al trasporto, dispersione e sdoppiamento di inquinanti, senza che ci sia interferenza con l’ambiente.

In tabella 1.7 vengono riportati i limiti massimi dei parametri principali, contenuti nella normativa venezuelana.

	scarico in acque	scarico in rete fognaria	Tipo 2A	Tipo 2B
pH	6-9	6-9	-	-
Oli e grassi (mg/L)	20	150	-	-
SST (mg/L)	80	400	-	-
BOD (mg/L)	60	350	-	-
COD (mg/L)	350	900	-	-
NT (mg/L)	40	40	-	-
PT (mg/L)	10	10	-	-
C.Totali (NMP/100mL)	1000	-	1000	5000
C.Fecali (NMP/100mL)	-	-	100	1000

*NMP: Numero pui probabile

Tab. 1.7: Limiti massimi dei principali parametri della normativa venezuelana

Per quanto riguarda il limite massimo di Coliformi Totali in uno scarico in corpi idrici superficiali, il valore di 1000 NMP/100mL rappresenta il valore massimo nel 90% di analisi consecutive, ma non bisogna in nessun caso superare i 5000 NMP/100mL.

- **Colombia**

La Colombia presenta normative sul controllo e riutilizzo delle acque di scarico molto curate e facilmente reperibili. L'aspetto della risorsa "acqua" sia potabile, che reflua, viene gestita dall'organismo governativo colombiano definito CRA (*Comisión de Regulación de Agua potable y saneamiento básico*). La normativa tecnica su cui si basa la costruzione e le metodologie di trattamento delle acque per uso potabile e per lo scarico è la n. 1096 del novembre del 2000. Tale legislazione descrive le diverse tipologie di trattamento e come vanno effettuate le campagne di monitoraggio. Per quanto riguarda i limiti allo scarico, la normativa si rifà a una vecchia legislazione nazionale che è il decreto 1594 del giugno 1984. All'articolo 29 tale decreto definisce una scala di importanza dell'uso dell'acqua mettendo:

- ⤴ Consumo umano e domestico;
- ⤴ preservazione dell'ambiente;
- ⤴ uso agricolo;
- ⤴ ricreativo;
- ⤴ industriale;
- ⤴ trasporto.

All'articolo 40 definisce i valori limiti per lo scarico al suolo e il riutilizzo in agricoltura dell'acqua reflua. Questi sono riportati nella tabella 1.8 sottostante:

Parametro	Limite
pH	4.5-9
TSS (mg/L)	-
BOD (mg/L)	60
COD (mg/L)	350
PT (mg/L)	-
TN (mg/L)	10
Mercurio (mg/L)	0.01
Piombo (mg/L)	0,1
Coliformi Fecali (UFC/100mL)	1000

Tab. 1.8: Limiti riutilizzo in agricoltura Colombia (Normativa tecnica n. 1096/2000)

- **WHO – Linea guida per il riutilizzo delle acque grigie in agricoltura**

Il volume 4 del WHO 2006 sulle linee guida per il riutilizzo delle acque reflue, descrive l'impatto che ha l'uso di acqua grigia per irrigazione, sulla salute dei consumatori. Lo scopo di fornire le basi per permettere un riutilizzo sicuro di questa risorsa, seguendo quelli che sono gli obiettivi del millennio (Millenium Development Goals), adottati dall'ONU nell'assemblea dell' 8 settembre 2000. Di questi obiettivi i due a cui il riutilizzo delle acque reflue in agricoltura sono più legati sono: l'obiettivo 1 (eliminare la fame e la povertà nel mondo) e l'obiettivo 7 (assicurare la sostenibilità ambientale).

Le WHO Guidelines (2006) per l'utilizzo di acque di scarico in agricoltura si concentrano sulla carica microbiologica delle acque, fissando un limite indicativo

massimo di parassiti e, in particolare, un valore guida massimo di Escherichia Coli per l'irrigazione di terreni agricoli e per la coltivazione di beni consumati crudi, (Tabella 1.9).

	Helminth eggs (number per gram total solids or per litre)	E. coli (number per 100 ml)
Treated faeces and faecal sludge	<1/g total solids	<1000 g/total solids
Greywater for use in:		
• Restricted irrigation	<1/litre	<10 ⁵ ^a Relaxed to <10 ⁶ when exposure is limited or regrowth is likely
• Unrestricted irrigation of crops eaten raw	<1/litre	<10 ³ Relaxed to <10 ⁴ for high-growing leaf crops or drip irrigation

^a These values are acceptable due to the regrowth potential of *E. coli* and other faecal coliforms in greywater.

Tab. 1.9 – Valori guida WHO (2006)

• Normativa altri paesi

Morel e Diener riportano nell'edizione 2006 di "Greywater Management in Low and Middle-Income Countries", una tabella contenente i principali standard qualitativi richiesti dalle normative di otto Paesi, cinque dei quali sono considerati al 2012 Paesi in Via di Sviluppo (Costarica, India, Giordania, Tailandia, Sri Lanka), (Tabella 1.10).

Paese	Costarica ⁽¹⁾	India ⁽²⁾		Israele ⁽³⁾		Giordania ⁽⁴⁾	Sri Lanka ⁽⁵⁾	Svizzera ⁽⁶⁾	Tailandia ⁽⁷⁾	USA ⁽⁸⁾
Tipo di scarico/riuso	Tipo 1 Tipo 3	Tipo 1	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 3	Tipo 2 Tipo 4	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 3	Tipo 2 Tipo 5
pH	6-9	5.5-9	5.5-9	7-8.5	6.5-8.5	6-9	6-8.5	-	6.5-8.5	6-9
Conducibilità (µS/cm)	-	-	-	-	1400	-	-	-	2000	-
Torbidità (NTU)	-	-	-	-	-	10	-	-	-	2
SST (mg/L)	-	100	200	10	10	-	50	50	-	30
Oli e grassi (mg/L)	30	10	10	1	-	8	10	-	5	-
BOD ₅ (mg/L)	40	30	100	10	10	30	30	20	20	10
COD (mg/L)	-	250	-	70	100	100	250	-	-	-
NT (mg/L)	-	-	-	10	20	45	-	-	-	-
PT (mg/L)	-	-	-	0.2	5	30	-	0.8	-	-
N-NH ₄ (mg/L)	-	50	50	1.5	20	-	50	2	-	-
Coli.Fecali (ufc/100mL)	1000	-	-	200	10	-	-	-	-	0
E.Coli (ufc/100mL)	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-

(1) Mds, 1997; (2) Central Pollution Control Board, 1993; (3) Ministry of the Environment, 2003; (4) Government of Jordan, 2003; (5) CEA, 1990; (6) Bundesamt fur Umwelt, 1998; (7) Pollution Control Department PCD, 2000; (8) US EPA, 2004a

Tab. 1.10: Standard degli effluenti richiesti in diversi Paesi per differenti tipi di riuso/scarico (Morel e Diener, 2006)

Tali limiti si riferiscono a diversi tipi di scarico o riuso in agricoltura:

- Tipo 1: scarico in corpi idrici superficiali;
- Tipo 2: irrigazioni di giardini/prati;
- Tipo 3: libera irrigazione;
- Tipo 4: irrigazione di campi agricoli da cui si ricavano ortaggi consumati cotti;
- Tipo 5: irrigazione di campi agricoli da cui si ricavano ortaggi consumati crudi.

1.3 TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE

1.3.1 Tecnologie di trattamento e smaltimento

La scelta del sistema di trattamento delle acque grigie è sostanzialmente dipendente dalla destinazione d'uso finale dell'effluente prodotto (Mara, 2003). Le strategie di gestione dell'acqua grigia dovrebbero quindi essere adattate a uno specifico scopo, come ad esempio generare un effluente adatto al riutilizzo agricolo o la cui qualità permetta un suo scarico sicuro nel suolo o in un corpo idrico superficiale. Morel e Diener (2006) elencano i principali obiettivi che un sistema di gestione e trattamento di acque grigie dovrebbe garantire:

- Protezione della salute pubblica;
- Protezione dell'ambiente;
- Fertilità del suolo;
- Accettabilità dal punto di vista socio-culturale e economicamente sostenibile;
- Semplicità in modo tale che non richieda particolari conoscenze o abilità dell'utente ("user-friendly");
- Rispetto degli standard nazionali e internazionali.

Seguendo questi principi basilari, verranno di seguito elencate le principali tecnologie di trattamento, divise in trattamenti primari, secondari e terziari.

- **Trattamento primario:** ha l'obiettivo di eliminare i solidi sospesi sedimentabili, solidi grossolani, oli, grassi e parte della materia organica. I trattamenti primari sono trattamenti fisici che si basano su grigliatura, sedimentazione, flottazione e filtrazione.
- **Trattamento secondario:** l'obiettivo più importante consiste nella rimozione della sostanza organica, riduzione della carica patogena e dei carichi di nutrienti. Dopo un trattamento primario, la sostanza organica presente nell'acqua grigia può presentarsi dissolta (non rimovibile solo con processi fisici, come un trattamento primario) e/o come sostanza organica sospesa, che sebbene largamente rimossa in un trattamento primario efficiente, può contenere solidi che sedimentano più lentamente e che quindi rimangono all'interno della matrice liquida (Von Sperling e Chernicharo, 2005).
- **Trattamento terziario:** ha l'obiettivo di eliminare specifici inquinanti, come per esempio composti tossici non biodegradabili. Dato l'intenso bisogno di energia e di processi tecnologici complicati, questo tipo di trattamento non è considerato adeguato per un trattamento di piccola applicazione, soprattutto nei paesi in via di sviluppo.

1.3.1.1 Trattamenti primari

Di seguito sono analizzati i diversi processi di trattamento di tipo primario.

✓ Filtrazione grossolana

Sistema primario per rimuovere materiali solidi di grosse dimensioni (capelli, pelle, cibo, ecc) così da evitare la loro immissione nei trattamenti successivi. Non esiste un vero e proprio iter di dimensionamento. La più semplice forma di filtrazione grossolana è costituita da una griglia (rete di metallo o semplice pezzo di zanzariera) a protezione dello scarico del lavandino e della doccia. Essa blocca le particelle più

grosse riducendo significativamente il pericolo di intasamento di tubi e filtri. La gestione è minima e riguarda il lavaggio periodico della griglia.

La gestione, invece, di questa tipologia di filtrazione su letti di ghiaia o sabbia come trattamento primario, crea generalmente dei problemi. Questo perché le particelle di grosse dimensioni, gli oli e i grassi vanno a intasare velocemente il letto filtrante che, quindi, deve essere lavato frequentemente o cambiato. Queste operazioni sono costose, sgradevoli, difficili e possono generare situazioni di pericolo per la salute, se gestite in modo non idoneo. Per questo motivo la filtrazione su sabbia e ghiaia è sconsigliata come trattamento primario ma può essere una buona opzione come trattamento secondario.

✓ Flottazione

La flottazione è un processo fisico, costituito da un bacino di calma, dove i componenti più leggeri (oli e grassi), si accumulano sulla superficie dell'acqua. È un metodo semplice che si applica usualmente in piccoli impianti di trattamento, prima dei trattamenti secondari. In genere sono costruite in cemento o mattoni, anche se esistono già prefabbricate in plastica ma con costi più elevati. Per quanto riguarda il dimensionamento, queste trappole di oli devono garantire un tempo di ritenzione idraulica (HRT) tale da permettere la flottazione delle sostanze grasse ed evitare qualsiasi tipo di turbolenza, in modo che queste sostanze non fluiscano nel trattamento successivo. La letteratura indica un tempo di ritenzione idraulica minimo che varia da 15 a 30 minuti (Morel e Diener, 2006).

La gestione è semplice e deve essere effettuata periodicamente. Le vasche devono essere coperte per evitare la diffusione di odori molesti e devono essere pulite con accuratezza (in base alle dimensioni) per mantenere una buona efficienza di rimozione. In figura 1.1 viene illustrato il funzionamento di un sistema di trappola con due setti posti all'entrata e all'uscita del compartimento favoriscono la sedimentazione della parte pesante del refluo e la flottazione degli oli e dei grassi più leggeri.

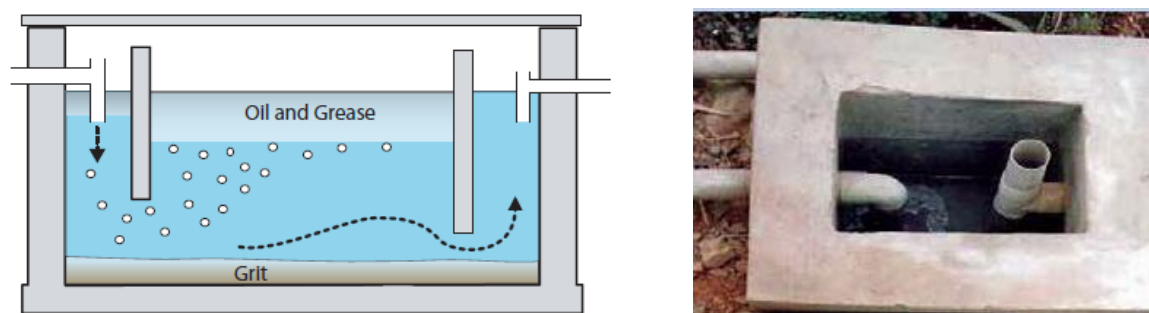


Fig. 1.1: Funzionamento trappola oli e esempio in PVS (Morel e Diener, 2006)

La tabella 1.11 riassume gli aspetti di questo tipo di trattamento primario. Va sottolineato che il sistema ha il vantaggio di essere economico nella sua messa in opera, ma necessita un'attenta manutenzione per garantire, almeno, una buona resa su oli e grassi (molto bassa è la rimozione su BOD e TSS).

TRAPPOLA OLI	
Funzionamento	Rimozione di olii e grassi per flottazione, di sabbia per sedimentazione
Criteri designo	HRT= 15-30 min; Vmin= 200-300 l (volume)
Resa	BOD ≤ 20%; TSS ≤ 20%; TN ≤ 10%; TP ≤ 10%; O&G≈ 70%
Vantaggi	Economico; ottima rimozione di oli e grassi se dimensionato e mantenuto bene
Svantaggi	Bassa rimozione di BOD e TSS; richiede un mantenimento frequente; odori molesti; pulizia sgradevole

Tab. 1.11: Principali aspetti di funzionamento del sistema di flottazione. (Morel e Diener, 2006)

✓ Fossa settica

È tra i più antichi sistemi di trattamento dei reflui civili, brevettato nel 1881 dal francese Mourras. La conformazione particolare della vasca obbliga i liquami ad attraversare la massa liquida in essa contenuta, dove subiscono una fermentazione anaerobica, con conseguente solubilizzazione della parte dei solidi sospesi e sedimentazione dei restanti. Così dalla vasca esce un liquido caratterizzato da bassa concentrazione di solidi sospesi, trasformati prevalentemente in solidi disciolti e colloidali. Sul fondo si raccolgono invece le sostanze sedimentabili sottoforma di fango (generalmente 0.3-0.6 L/(AE d), Massotti-Verlicchi, 2005), in superficie si viene a creare una crosta di schiuma consolidata che galleggia per effetto degli oli portati in superficie e dei gas che si liberano per i processi anaerobici.

Il dimensionamento viene effettuato tenendo in considerazione il tempo di permanenza (legato alla portata) e alla velocità del flusso in vasca (Ahmed-Rahman, 2003). La vasca può essere a singolo o a doppio scompartimento, dove quello a due scompartimenti è generalmente preferito. È consigliato un sovradimensionamento di queste vasche in quanto se le grandezze sono scarse, si hanno alti costi di gestione per il frequente prelievo di fango che riempie rapidamente il volume d'accumulo, diminuendo le rese di depurazione. (Massotti-Verlicchi, 2005).

Nella gestione, per garantire l'efficienza di trattamento della vasca, essa deve essere pulita periodicamente. Indicativamente la pulizia va effettuata quando la schiuma e il fango superano il 30% della fossa settica (circa ogni 2-5 anni, Morel-Diener 2006). La pulizia non può essere effettuata manualmente, dato che il fango è ricco di elementi patogeni e viene generalmente effettuata da ditte specializzate (anche nei paesi in via di sviluppo). Anche l'acqua di uscita dalla fossa deve essere ulteriormente trattata prima di qualsiasi riutilizzo o immissione in natura. La fossa settica viene considerata il sistema più comune di trattamento a piccola scala in tutto il mondo (in Nord America circa il 25% di tutte le case è dotata di questa tecnologia, da Ground Water Trust, opuscolo, 2005).

La figura 1.2 mostra il funzionamento della fossa settica. L'acqua reflua entra in una prima vasca di calma dove avvengono i processi di flottazione e sedimentazione, quindi viene mandata in una seconda vasca dove è ripescata e inviata a trattamenti successivi.

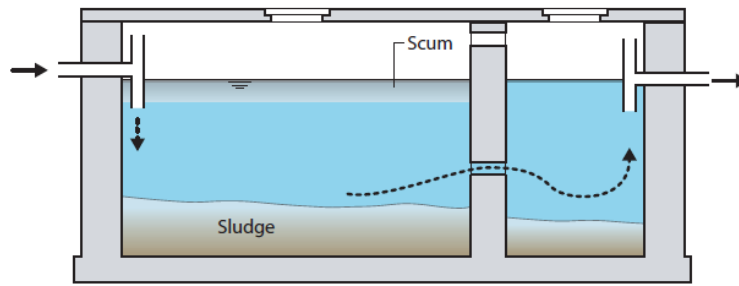


Fig. 1.2: Funzionamento fossa settica (Morel e Diener 2006)

La tabella 1.12 riassume gli aspetti di questo trattamento primario. È un sistema decisamente economico e semplice da mettere in opera, che inoltre garantisce delle buone rese su BOD, COD e soprattutto sui solidi totali. Trova svantaggi nel mantenimento che deve essere effettuato periodicamente da persone specializzate e dotate dell'equipaggiamento più adatto. Si tratta però di un trattamento talmente diffuso che, a parte le aree più rurali dei PVS, non dovrebbero esserci problemi a trovare aziende professioniste in questo settore.

FOSSA SETTICA	
Funzionamento	Sedimentazione dei solidi sedimentabili, flottazione dei grassi e degradazione anaerobica dei solidi sospesi e disciolti
Criteri design	HRT= 48h; $v_{min}= 1.4 - 2$ m/h (velocità)
Resa	BOD = 20-54%; COD = 30-56% TSS = 50-90%; TN \leq 20%
Vantaggi	Economico; buone rese; altamente diffuso
Svantaggi	Mantenimento; possibili cattivi odori

Tab. 1.12: Principali aspetti di funzionamento della fossa settica (Morel e Diener, 2006)

✓ Fossa Imhoff

È una vasca a due piani che costituisce il primo esempio di impianto compatto di tipo combinato nella depurazione delle acque (brevettato nel 1904 dal tedesco Imhoff). Essa è costituita da due compartimenti: uno superiore di sedimentazione e uno inferiore di accumulo e di digestione anaerobica dei fanghi sedimentati. In pratica i solidi sedimentabili vengono catturati al fondo del primo comparto e scendono attraverso apposite fessure di comunicazione nel comparto inferiore dove subiscono una fermentazione anaerobica (con conseguente stabilizzazione).

La differenza sostanziale tra le fosse Imhoff e quelle settiche è il fatto che la separazione fisica tra il comparto di sedimentazione (superiore) e quello di digestione (inferiore), consente di realizzare una digestione del fango in modo uniforme e controllato, e di ottenere un effluente chiarificato e fresco (cioè con poche ore di permanenza nel comparto di sedimentazione). Per quanto riguarda piccoli impianti, si seguono criteri autonomi di dimensionamento: per il comparto superiore di sedimentazione si adottano volumi unitari compresi tra 30 e 60 L/AE con un apporto idraulico unitario di 200 L/(AE d), con un tempo di ritenzione dell'ordine di 3.5-7 h. Per il comparto inferiore, in genere si hanno criteri di dimensionamento del tutto simili a quelli relativi al dimensionamento delle vasche settiche.

- Per popolazioni tra 200 e 500 AE, si hanno volumi unitari di 0.5-1 m³/AE;
- Per popolazioni oltre i 500 AE, si suggeriscono volumi unitari tra 0.25-0.5 m³/AE.

Esistono poi ulteriori indicazioni dimensionali consigliate dall'esperienza dei costruttori di fosse Imhoff che garantirebbero un effluente finale chiarificato e un fango ben stabilizzato in condizioni anaerobiche effettive (Masotti-Verlicchi, 2005). Per quanto riguarda la gestione queste fosse necessitano in maniera indispensabile un trattamento preliminare di grigliatura o triturazione, in modo da evitare l'intasamento delle fessure di comunicazione fra i due comparti, per il passaggio di corpi grossolani. Per queste specifiche esigenze gestionali (frequente pulizia delle fessure di comunicazione e gestione dei pretartamenti), le fosse Imhoff devono essere applicate in un campo minimo di 100-200 abitanti fino a un limite massimo di 5000 abitanti (per una popolazione minore di 100 abitanti, lo stesso Imhoff, nel 1970, consiglia l'utilizzo di fosse settiche).

La figura 1.3 mostra il funzionamento di una fossa Imhoff e dalla figura si può notare chiaramente la distinzione tra la camera di sedimentazione superiore e quella di digestione inferiore con le fessure di passaggio.

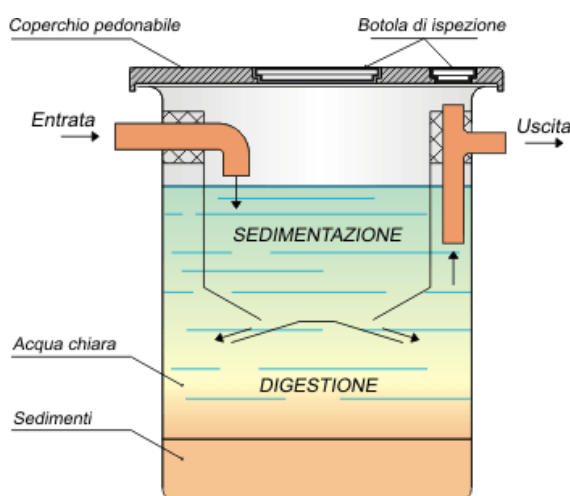


Fig. 1.3: Funzionamento di una fossa Imhoff

La tabella 1.13 riassume gli aspetti di questo tipo di trattamento. Questo sistema è decisamente analogo alla fossa settica per quanto riguardano le rese depurative vantaggi e svantaggi (infatti entrambi si basano sugli stessi principi di funzionamento). Un vantaggio aggiuntivo, però, nella fossa Imhoff è il minor tempo di ritenzione (7 ore rispetto alle 48 ore della settica), ma c'è da sottolineare che tale tipologia di trattamento è adatta a popolazioni minime di 200 abitanti, altrimenti va preferita la fossa settica.

FOSSA IMHOFF	
Funzionamento	Sedimentazione dei solidi sedimentabili, flottazione dei grassi e degradazione anaerobica dei solidi sospesi e disciolti
Criteri design	HRT= 3.5-7 h; carico idraulico 200 L/(AE d)
Resa	BOD = 35%; COD = 35%; TSS = 65%;
Vantaggi	Economico; buone rese; altamente diffuso
Svantaggi	Mantenimento; possibili cattivi odori

Tab. 1.13: Principali aspetti di funzionamento della fossa Imhoff

1.3.1.2 Trattamenti secondari

Di seguito sono analizzati i principali sistemi di trattamento di tipo secondario.

✓ Filtrazione su sabbia

È un processo di trattamento dove l'acqua passa attraverso un letto di materiale filtrante composto da un singolo strato di sabbia, o da molteplici strati di diversa granulometria. Esso trattiene solidi sospesi, colloidi e parte di batteri e virus, attraverso 4 diverse azioni:

- *Sforzo meccanico*: le particelle di maggiori dimensioni vengono bloccate meccanicamente. Ciò avviene solo nel primo strato del materiale filtrante e man mano che il materiale si accumula, aumenta sia l'efficienza di rimozione delle particelle grossolane, sia aumenta lo sforzo del flusso d'acqua per passare all'interno del filtro. Questa azione non può eliminare batteri o materiali colloidali che sono troppo piccoli.

- *Sedimentazione e adsorbimento*: permette la rimozione di colloidali, batteri e piccole particelle nei pori del letto filtrante. Questi elementi aderiscono alla superficie dei granuli di sabbia per attrazione fisica e per la presenza di materiale gelatinoso di origine batterica o di altri materiali colloidali, filtrati in precedenza.

- *Azione microbiologica*: durante il processo di filtrazione uno strato di microrganismi si forma attorno ai grani di sabbia. Questo è il principale responsabile della rimozione della parte batterica presente nell'acqua reflua, attraverso un processo di ossidazione. Lo strato in cui si crea questo film di batteri è chiamato "*Schmutzdecke*" (*strato sporco*) e si crea generalmente nel primissimo strato.

- *Attrazione elettrostatica*: il letto di filtrazione presenta una variazione di carica positiva e negativa tra i suoi granuli che è in grado di assorbire la maggior parte delle impurità presenti nell'acqua per attrazione.

I sistemi a filtrazione si possono trovare in due diverse configurazioni:

1. *Filtro verticale*: dove l'acqua circola in senso verticale e si distinguono in *up-flow* (l'acqua filtra dal basso verso l'alto) e *down-flow* (filtra dall'alto verso il basso). Il liquido è inoltre caricato ad intermittenza così da garantire un'ossigenazione del letto.
2. *Filtro orizzontale*: l'acqua circola in senso orizzontale. Parte del filtro è sempre saturo, cosicché si abbia sia un'area che opera aerobicamente, sia un'area anaerobicamente.

Non esistono grosse differenze nell'efficienza di rimozione tra le diverse configurazioni, ma nel momento di pulire il filtro, il sistema verticale è più adatto ad una pulizia idraulica (Ahmed-Rahman, 2003). Da letteratura la configurazione più utilizzata nel trattamento di acque grigie (per filtri a sabbia senza piante) è quella verticale. Si ha uno schema molto semplice: una cassa impermeabile riempita di materiale filtrante (sabbia o diversi strati), caricata di acqua grigia periodicamente tramite un sistema di distribuzione elettrico o manuale. In questo modo si garantisce l'ossigenazione al filtro.

Il dimensionamento viene effettuato considerando il tempo di ritenzione idraulica (HRT) all'interno del filtro e la percentuale di abbattimento del BOD che si vuole ottenere. Il tutto legato a un carico idraulico limite consigliato 100 L/m² (Sasse, 1998). La figura 1.4 mostra l'influenza che ha il tasso di rimozione del BOD sul HRT, nel caso di un impianto con il 35% di porosità del materiale filtrante, alla temperatura di 25°C (Sasse, 1998).

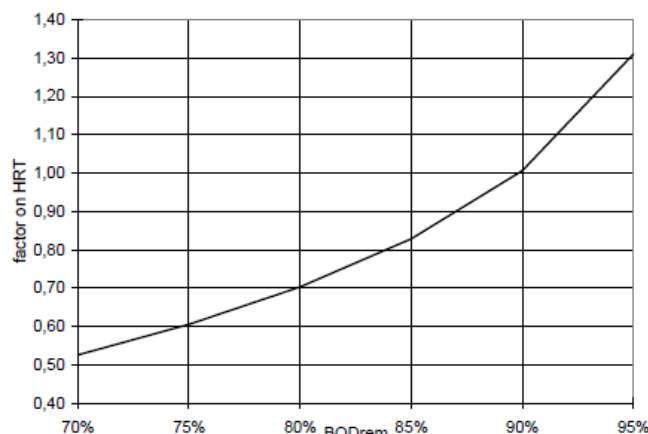


Fig. 1.4: Legame tra tempo di ritenzione e rimozione BOD (Sasse, 1998)

Si nota chiaramente come: all'aumentare del tasso di rimozione richiesto, cresce esponenzialmente il fattore sul tempo di ritenzione. Tale legame è anche in funzione del carico idraulico che si va ad applicare, alla temperatura e alla porosità del mezzo filtrante. Un sistema di questo tipo ben funzionante può garantire una rimozione di BOD (80- 90%), TSS (65-85%) e azoto totale (30-40%) (Morel-Diener, 2006). Esso è facilmente applicabile anche in zone dove si hanno basse temperature. Per quanto riguarda la gestione, la problematica principale è legata all'ostruzione del sistema se non si adoperano adeguati pre-trattamenti. Vanno inoltre garantire periodici lavaggi del filtro tramite aria e/o acqua.

La tabella 1.14 riassume gli aspetti di questa tipologia di trattamento secondario. Si tratta di una buona tecnologia depurativa: semplice, economica (per messa in opera) e garantisce delle ottime rese depurative. La problematica principale è nella manutenzione e nella gestione del lavaggio del filtro che deve essere effettuata periodicamente per evitare ostruzioni del filtro.

FILTRAZIONE SU SABBIA	
Funzionamento	Il refluo percola nel filtro dove viene trattato da processi fisici, chimici e biologici
Criteri design	HLR= 5-10 cm/d; OLR= 20-25 gBOD/m ² /d; H= 0.8-1.2m
Resa	BOD = 80-90%; TSS = 65-85%; TN = 30-40%
Vantaggi	Efficiente rimozione della materia organica sospesa e disciolta, dei nutrienti e patogeni; nessun problema di odori
Svantaggi	La distribuzione del refluo sul mezzo filtrante deve essere adeguata per evitare vie preferenziali; problemi di otturazione del filtro; monitoraggio continuo e operazioni di pulizia

Tab. 1.14: Principali aspetti di funzionamento della filtrazione su sabbia (Morel e Diener, 2006)

✓ Filtro anaerobico

Il filtro anaerobico è una tecnologia depurativa basata sull'azione di batteri anaerobici a biomassa adesa. È un sistema molto semplice sia per quanto riguarda la realizzazione che la gestione e può funzionare anche a basse temperature. È però un sistema che necessita un buon trattamento primario per evitare che materiale grossolano possa ostruire il filtro e, inoltre, richiede una certa attenzione nella gestione del biogas, che si viene a formare a seguito del processo di ossidazione.

È necessaria una pulizia periodica del filtro, quando la massa adesa è troppo spessa e il biogas prodotto può essere riutilizzato a scopi energetici. La tecnologia può essere facilmente implementata all'interno di mezzi semplici, quali comuni barili o vasche chiuse. La sua facilità di utilizzo e messa in opera, la rende una soluzione molto apprezzata nei paesi in via di sviluppo e esperienze positive sono state implementate in diversi paesi tra cui Palestina (Al-Jayyausi, 2002), Sri Lanka (Corea, 2001) e Giordania (Burnat, 2005). Il meccanismo consiste in diversi strati di materiale filtrante posti all'interno di un reattore chiuso. Tale materiale può avere granulometrie diverse, ma una buona stratificazione deve garantire un'area di sviluppo della flora microbica che vada da 90 a 300 m² per m³ di volume pieno del reattore (Sasse, 1998). Ghiaia, pietrisco, sabbia e pezzi di plastica sono i materiali più utilizzati e se si creano sistemi dotati di 3 o più strati, allora è consigliabile avere una profondità minima del reattore di 0.8 m (Sperling e Chemicharo, 2005). Generalmente la granulometria varia da 12 a 55 mm e il sistema per funzionare al meglio deve essere coperto da un strato di acqua reflua (30 cm), per garantire il regime di flusso nel filtro.

La scelta del materiale filtrante è a discrezione del progettista. Clark nel 2001 ha effettuato diverse sperimentazioni con quattro diversi materiali filtranti (sabbia, carbone attivo, compost e torba), analizzando le rese di abbattimento di nutrienti (azoto, fosforo e ammoniaca) e diversi metalli pesanti (piombo, rame, zinco e ferro). Per quanto riguarda l'abbattimento dell'ammoniaca, i risultati sono stati piuttosto bassi, in quanto l'ambiente aerobico non favorisce il processo di nitrificazione (condotto da batteri aerobici). Per il fosforo sono stati ottenuti buoni risultati su sabbia, carbone attivo e torba, mentre l'abbattimento dell'azoto totale non ha mai superato rese del 15% (accertato anche nelle sperimentazioni raccolte da Morel e Diener, 2006).

Buoni risultati di rimozione dei metalli pesanti sono stati indicati in tutte e quattro le tipologie di materiale filtrante, ma per quanto riguarda la sabbia e il carbone attivo, le loro rese si modificano in base al pH dell'acqua reflua. Le rese sul BOD e sui solidi sospesi possono arrivare anche al 85-90% (come riportato in casi di studio in Sri Lanka da Corea, 2001), ma generalmente si attestano tra il 50-80% (Morel e Diener, 2006).

Il sistema può essere a flusso ascendente o discendente. Per quanto riguarda le rese non c'è molta differenza, ma nel caso di un malfunzionamento del flusso discendente la parte in entrata a quella in uscita possono venire a contatto con l'aria, rovinando così l'ambiente anaerobico. Utilizzando, invece, un sistema a flusso ascendente dotato di un sifone per il controllo dell'entrata, questo problema viene risolto (Clark, 2001).

Il sistema può essere inoltre caratterizzato da un ambiente saturo d'acqua nel filtro o insaturo.

- *Filtro saturo*, in questo caso tutto il sistema si trova sempre pieno e il refluo rimane tra le particelle del mezzo in movimento ascendente o discendente. Ciò determina una sorta di flocculazione dell'acqua reflua che gioca un ruolo importante nella degradazione della matrice organica. Per questo motivo il biofilm che si forma gioca un ruolo secondario nella fase di depurazione;
- *Filtro insaturo*: in questo caso il biofilm si forma sul primo strato di materiale filtrante nel reattore attivando una immediata biodegradazione. È necessario però controllare la formazione di questa flora batterica, in quanto se troppo sviluppata può determinare l'ostruzione del filtro.

Il tempo di ritenzione è il parametro principale nel dimensionamento e diversi autori (Sasse 1998, EPA 2004), consigliano da 0.5 a 1.5 d, con un carico idraulico massimo di 2.8 m/d. Questi valori sono dettati dalla lunga esperienza degli autori nell'utilizzo di questi tipologie di impianti nelle diverse parti del mondo. Tra questi bisogna citare Young che nel 1991 dopo lo studio su 30 diversi impianti di filtrazione anaerobica (in Europa, USA e Canada), ha concluso che questo parametro è il più importante da tenere in considerazione.

Per quanto riguarda la gestione, è necessario un pre-trattamento per l'eliminazione di eventuali solidi sospesi grossolani che possono ostruire il filtro e compromettere la sopravvivenza della colonia batterica. Altro aspetto importante è la pulizia del filtro e per questo è necessario garantire un accesso al sistema per lavarlo quando lo spessore della biomassa adesa è troppo spessa. La pulizia può avvenire con un lavaggio del filtro direttamente nel reattore (acqua e/o aria contro e equi corrente) o vuotandolo (Morel e Diener, 2006).

Questa tecnologia produce biogas infiammabile (presenza di metano) che deve essere controllato ed eliminato periodicamente. Alcuni studi considerano il riutilizzo di tali gas a scopo domestico (Rodriguez, 2006). Tali sistemi, infine, possono essere costruiti fuori terra, ma in genere sono interrati per garantire isolamento e protezione dalle escursioni climatiche.

La figura 1.5 descrive il funzionamento di un filtro anaerobico ad andamento up-flow. L'acqua da una vasca di ritenzione fluisce dal basso verso l'alto attraverso delle aperture e fluisce all'interno del mezzo filtrante. Gli strati variano da granulometrie maggiori a minori secondo il flusso di entrata. Infine vengono raccolte in superficie

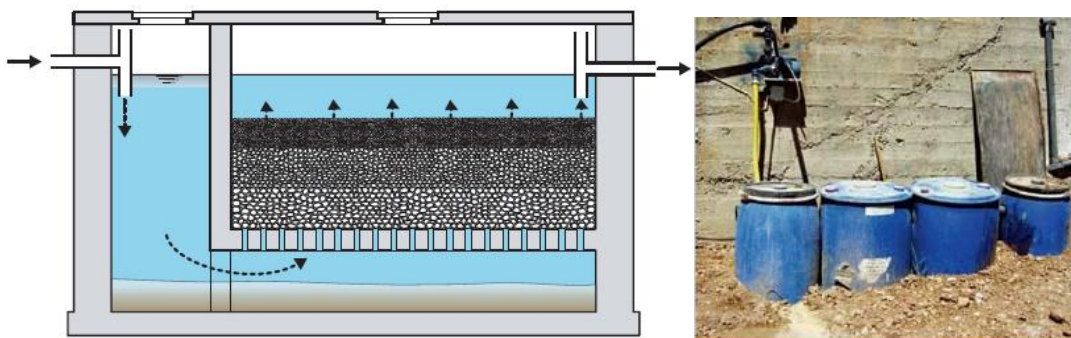


Fig. 1.5: Funzionamento filtro anaerobico ed esempio applicativo in Giordania (Morel e Diener, 2006)

La tabella 1.15 riassume gli aspetti di questa tipologia di trattamento secondario. È un trattamento economico che da ottime rese e inoltre la possibilità di una produzione di biogas riutilizzabile in ambito civile. Come per tutte le tipologie di

filtrazione si ha sempre la problematica della manutenzione e soprattutto della pulizia. La sua semplicità e buona funzionalità, la rende comunque un'ottima tipologia di trattamento soprattutto nei PVS.

FILTRO ANAEROBICO	
Funzionamento	Solidi sospesi e disciolti sono eliminati per filtrazione e degradazione anaerobica da parte della biomassa adesa al filtro
Criteri design	HRT= 0.5-1.5 d; HLR ≤ 2.8 m/d; H ≥ 1 m; 2-3 strati
Resa	BOD= 50-80%; TSS= 50-80%; TN ≤ 15%
Vantaggi	Buone rese sui solidi sospesi; resistente ad alti carichi idraulici e organici; bassa produzione di fango
Svantaggi	Scarsa esperienza nell'utilizzo di questa tecnologia per il trattamento di acque grigie; bassa rimozione di nutrienti e batteri patogeni

Tab. 1.15 Principali aspetti di funzionamento del filtro anaerobico (Morel e Diener, 2006)

✓ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Si tratta di un innovativo sistema depurativo biologico a massa sospesa, composta da un manto (appunto blanket) di fango anaerobico che si muove in senso ascendente all'interno del reattore. Il funzionamento è del tutto simile a quello di una fossa Imhoff. Il reattore è infatti composto da due camere distinte ma interconnesse: quella inferiore dove avvengono le reazioni anaerobiche e quella superiore dove avviene la sedimentazione (flusso ascensionale) dalla matrice acquosa. Il fango separato ritorna quindi al comparto inferiore attraverso le fessure di comunicazione. Dunque si tratta di un funzionamento del tutto simile alle fosse Imhoff, che varia unicamente dal fatto che il flusso liquido in entrata va dal basso verso l'alto, mentre dall'alto verso il basso si muove solo il fango sfuggito dal comparto superiore di sedimentazione. In questo modo la depurazione risulta più affinata. È una tecnologia depurativa di semplice operatività e con l'assenza di qualsiasi macchinario (quindi consumi energetici nulli). Però essa viene applicata con efficacia solo nelle regioni dove le temperature del liquame non si abbassano al di sotto dei 10-15°C.

Durante la decomposizione anaerobica nel compartimento inferiore, si viene a formare del biogas che se colettato può essere riutilizzato in ambito civile ed industriale. La produzione di tale gas è comunque piuttosto bassa, dell'ordine di 0.15-0.2 m³ / kg di COD rimosso. Bisogna poi considerare che il metano è molto solubile quindi parte di questo andrà a mischiarsi con l'effluente chiarificato. (Masotti-Verlicchi, 2005).

Per quanto riguarda il dimensionamento, il comparto di sedimentazione superiore è dimensionato secondo i criteri tipici della sedimentazione negli impianti a fanghi attivi, cioè con velocità ascensionali non superiori ai 0.3-0.5 m/h. Viene quindi definita una profondità di 4-6 m e la velocità ascensionale della coperta di fango nel comparto inferiore viene mantenuta su valori di 0.6-0.9 m/h. La coperta di fango che si muove nel comparto inferiore è costituita da batteri aggregati in fiocchi, che si addensano nella parte superiore.

Le rese dipendono molto dalla località dove è collocato l'impianto. In località tropicali con tempi di permanenza tra 7-8 h, si ha rimozione di COD e BOD tra 60-80%, mentre della carica batterica del 70%. In aree temperate, si richiedono anche tempi di permanenza attorno alle 15 h per ottenere gli stessi risultati. I rendimenti depurativi ottenibili non sono comunque sufficienti, e per questo motivo tali sistemi devono

essere affiancati da sistemi di affinamento finale aerobico (fanghi attivi, fitodepurazione, lagunaggio, ecc).

La figura 1.6 mostra il funzionamento dell'impianto UASB. Le particelle di fango (in marrone) si muovono in senso ascendente dal compartimento inferiore di reazione anaerobica. Quindi il liquame arriva in superficie dove entra nel comparto di sedimentazione dove ci chiarifica ed esce. In giallo sono rappresentate le bolle di gas (create dall'azione anaerobica) che vengo colettate nel compartimento superiore e riutilizzate.

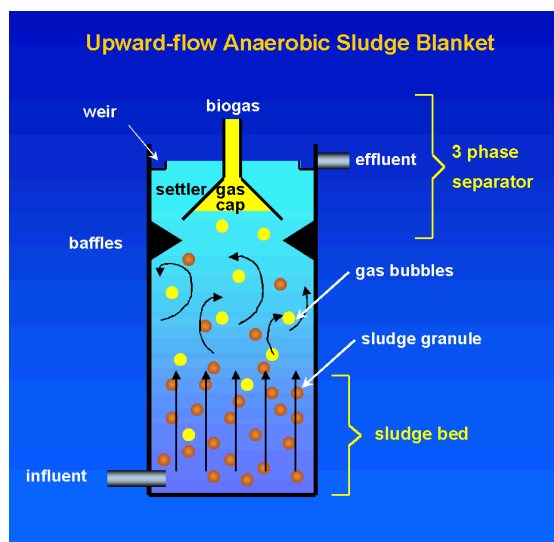


Fig. 1.6: Funzionamento reattore UASB (UASB.com , 2010)

Nella gestione bisogna tenere conto che l'impianto ha dei costi di mantenimento piuttosto bassi (data la mancanza di consumi energetici), ma ha delle tempistiche di avviamento piuttosto lunghe, dell'ordine di mesi se non si accelera con un apposito inoculo di fango da impianti simili. Inoltre per funzionare correttamente ed evitare instabilità del letto di fango, bisogna che i sistemi siano alimentati con portate relativamente costanti, e perciò necessario un equalizzatore a monte. Sono stati creati anche sistemi UASB per piccoli impianti, denominati *UASB-Septic tank system*, in alternativa alle fosse settiche tradizionali. Ma l'elevata profondità che richiede questo sistema, li rende poco concorrenziale (Masotti-Verlicchi, 2005).

La tabella 1.16 riassume gli aspetti di questa tipologia di trattamento secondario. È una tecnologia innovativa, poco costosa e che richiede poca manutenzione. Inoltre si ha una produzione di biogas riutilizzabile. Necessità però temperature per lavorare al meglio e ottenere rese depurative buone ed inoltre richiede grosse dimensioni (H = 4-6 m) e portate omogenee.

UASB	
Funzionamento	Degradazione anaerobica del refluo da parte di una comunità batterica adesa su un manto di fango che si muove in un reattore, con flusso entrante in senso ascendente. Un comparto superiore permette una sedimentazione del liquame, mentre quello inferiore il trattamento biologico in assenza di ossigeno
Criteri design	HRT= 7-15 h (dipende da T); $v \leq 0.3-0.6$ m/h (velocità ascensionale); H = 4-6 m;
Resa	BOD= 60-80%; COD= 50-80%; microrganismi < 70%
Vantaggi	Facile conduzione, assenza di consumi energetici, economico, produzione di biogas riutilizzabile
Svantaggi	Forte dipendenza con la temperatura esterna, necessita acque con buona concentrazione organica e portata costante, lunghi tempi di attivazione

Tab. 1.16: Principali aspetti di funzionamento del UASB

✓ Fitodepurazione

I sistemi naturali di fitodepurazione (indicati anche Costructed Wetland), rappresentano una scelta depurativa ampiamente diffusa in tutto il mondo. L'interesse nell'utilizzo di questi impianti per il trattamento di diverse tipologie di acque reflue è nato nella metà degli anni '80, quindi è cresciuto rapidamente sulla spinta dei movimenti ambientalisti e verdi per le sue caratteristiche tipiche di *depurazione naturale*.

Vantaggi di questi sistemi sono l'assenza di consumi energetici e di reagenti chimici, la capacità di adattamento a rapide variazioni di carico idraulico e inquinante in ingresso, la capacità di abbattimento spinto del carico organico, dei solidi sospesi, della carica batterica e dei nutrienti che la rendono competitiva con la depurazione con sistemi impiantistici di tipo intensivo (Masotti-Verlicchi, 2005). In Italia il D.lgs 152/2006 pone la fitodepurazione come tecnica depurativa alla pari con quelle tradizionali e la consiglia come metodologia per impianti medio-piccoli (50-2000 A.E). Essa infatti risponde a tutti gli obiettivi citati all'allegato 5, capo 3 del suddetto decreto:

- rendere semplice la manutenzione e la gestione;
- essere in grado di sopportare adeguatamente forti variazioni del carico idraulico ed organico;
- minimizzare i costi gestionali.

La fitodepurazione è una tecnica depurativa naturale basata sull'effetto combinato di filtrazione (azione meccanica) e ossidazione biologica (azione batterica e apparato radicale delle piante). In questi impianti il terreno è sempre o periodicamente saturo d'acqua e tale condizione favorisce la crescita di macrofite (piante da palude). Questa vegetazione determina molteplici vantaggi nell'azione depurativa del sistema:

- stabilizzazione del letto;
 - creazione di buone condizioni per la filtrazione fisica;
 - prevenzione del sistema da ostruzioni;
 - miglioramento dell'isolamento dalle basse temperature ambientali;
 - sviluppo, con l'apparato radicale, di un'ampia superficie per la crescita batterica;
 - assorbimento di nutrienti e trasferimento di ossigeno alle radici, incrementando la degradazione aerobica della matrice organica e la nitrificazione;
 - emissione da parte delle radici delle piante di particolari sostanze antibiotiche;
 - la crescita di una rigogliosa vegetazione crea un habitat favorevole allo sviluppo di animali selvatici, utile se è in opera un piano di ripopolamento.
- (Brix, 1994, Masotti-Verlicchi, 2005)

In particolar modo il trasferimento di ossigeno alle radici è una proprietà peculiare delle macrofite, che determina grossi vantaggi nelle *costructed wetland*. I microrganismi presenti nel suolo e nelle radici delle piante crescono se trovano ossigeno direttamente nei dintorni. In un terreno saturo, gli spazi tra i vari pori sono pieni d'acqua e, dato il lento tasso di diffusione di ossigeno nell'acqua, il suolo diventa anaerobico. Per questo motivo il sistema radicale delle piante, per crescere, deve assorbire ossigeno dalla parte aerea e trasportarla internamente alle radici. In questa maniera si ottiene a livello della "rizosfera" un ambiente aerobico (Brix, 1994). La figura 1.7 mostra in maniera semplificata questo fenomeno di ossigenazione del terreno.

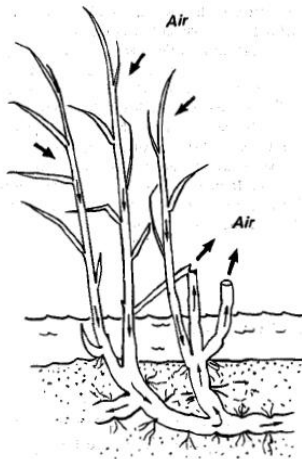


Fig. 1.7: Flusso convettivo di gas all'interno di una macrofita. L'aria entra nella foglie per effetto di gradiente di pressione, si muove internamente al rizoma e torna in atmosfera attraverso i rami morti o tagliati (Brix, 1994)

I vantaggi della fitodepurazione rispetto agli altri sistemi sono molteplici:

- risparmio energetico: funziona in modo naturale senza l'impiego di parti elettromeccaniche;
- costi di gestione e manutenzione praticamente nulli;
- assenza di cattivi odori e rumori molesti;
- dopo la fase di avvio non deve essere spento se inutilizzato;
- consente il recupero della risorsa idrica riutilizzo per vari scopi (irriguo, antincendio, reti duali, ecc.);
- capacità di abbattimento spinto del carico organico, dei solidi sospesi, della carica batterica e dei nutrienti che la rendono competitiva con la depurazione con sistemi impiantistici di tipo intensivo (Masotti e Verlicchi, 2005).
- in Paesi con clima tropicale o subtropicale si riduce l'acqua uscente dall'impianto, grazie all'evapotraspirazione delle piante.

Le acque di scarico attraversano gli inerti di riempimento e le radici delle piante restando costantemente sotto la superficie. Nel medium di inerti e radici si forma nel tempo una pellicola di biofilm batterico sede dei principali processi depurativi. Nel contempo le piante, oltre ad un parziale adsorbimento degli inquinanti, provvedono a trasferire dall'atmosfera alla rizosfera l'ossigeno necessario per le trasformazioni biochimiche dei batteri.

Secondo Masotti e Verlicchi (2005) le piante assumono un ruolo fondamentale nell'abbattimento della carica patogena che non viene solo rimossa dall'azione meccanica del mezzo filtrante, ma anche da sostanze antibiotiche rilasciate dalle radici delle piante.

La granulometria del mezzo filtrante dovrebbe permettere un flusso continuo dell'acqua entrante, evitando che il sistema si intasi, ma in ogni caso, non dovrebbe essere troppo grande da rendere inefficiente l'azione filtrante del sistema. La terra normale del posto, non deve mai essere impiegata per il riempimento di fitodepuratori perché danneggia l'impianto compromettendone il funzionamento in quanto favorisce la crescita di infestanti che inibiscono lo sviluppo delle piante depuranti e queste ultime, che devono vivere solo di ciò che trovano nell'effluente da depurare, trarrebbero a loro volta sostegno dagli elementi chimici e biologici presenti nel suolo, non trasformando quindi a sufficienza quelli contenuti nelle acque di scarico. Per questo motivo i fitodepuratori si riempiono solo con inerti. In caso di

ghiaia a granuli approssimativamente circolari, vengono considerate ottimali misure dell'ordine dei 20-30 millimetri (US EPA; 2004b). Granuli di dimensioni maggiori (40-80 mm) sono preferibilmente posizionabili all'ingresso per uniformare la distribuzione dell'input, e all'uscita, per facilitare la raccolta dell'acqua trattata dal filtro.

È importante che lo strato di terreno superficiale abbia determinate caratteristiche:

- Il pH del suolo dovrebbe essere compreso nel range 6.5-8.5 per non influenzare negativamente la disponibilità e la ritenzione di nutrienti e metalli pesanti;
- La conducibilità elettrica del terreno dovrebbe essere inferiore a 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, poiché essa influenza l'efficienza con cui piante e batteri agiscono sull'acqua di scarico entrante.

È opportuno far sì che il filtro sia dotato di una pendenza del 0.5-1% per favorire il movimento dell'acqua verso l'uscita, evitando che si formino delle zone stagnanti lontano dal punto d'uscita. Se l'entrata corrisponde al punto terminale della tubazione che trasporta le acque grigie, il punto di uscita è rappresentato da una tubazione che preleva l'acqua che si raccoglie nella zona più a valle del filtro e la convoglia ad un pozzetto di raccolta a valle, da cui verrà poi prelevata per riutilizzarla o sottoporla ad un successivo trattamento. Gli impianti di fitodepurazione sono come degli stagni riempiti di materiale filtrante e piante. Possono essere a flusso superficiale o sommerso, con un movimento orizzontale o verticale.

- **Flusso superficiale:** L'acqua da depurare scorre direttamente a pelo libero con sviluppo in lunghezza e una profondità di 20-50 cm (massimo 75 cm), piantumati. È un sistema che si è sviluppato molto negli Stati Uniti, dove c'è una maggiore disponibilità di aree. La profondità dell'acqua può essere variata stagionalmente regolando il livello all'uscita e in questo modo si possono adottare tempi di ritenzione più lunghi nel periodo invernale.
- **Flusso sommerso a movimento orizzontale:** Il liquame non è a contatto diretto con l'atmosfera, ma si muove sempre al di sotto della superficie filtrante. Nel caso del flusso orizzontale l'acqua attraversa il filtro piantumato in continuo, favorito da una pendenza minima del fondo (0.5-1%). È un impianto semplice, particolarmente adatto a piccole comunità e provvede a un efficace trattamento secondario a valle di trattamenti preliminari in fosse settiche o fosse Imhoff. La figura 1.8 mostra il funzionamento di questo sistema a flusso orizzontale.

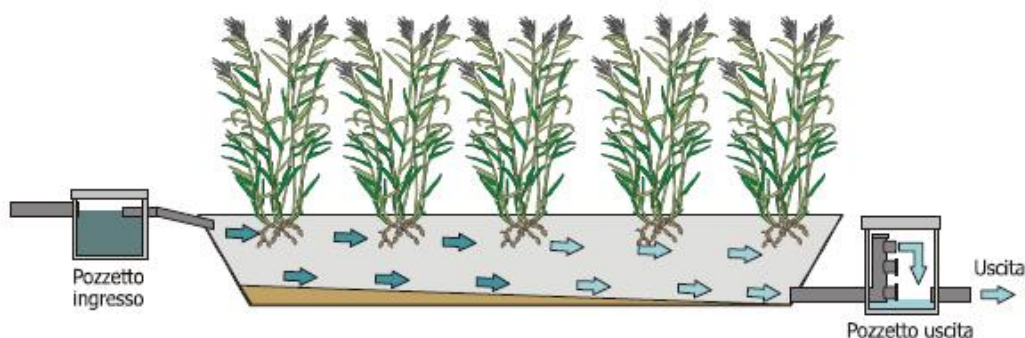


Fig. 1.8: Schema sistema a flusso sommerso con movimento orizzontale (APAT, 2005)

- **Flusso sommerso a movimento verticale:** A differenza del sistema orizzontale, quello verticale viene alimentato discontinuamente attraverso sistemi di distribuzione che creano un'intermittenza (pompe, sifoni dosatori, manualmente, ecc). Il refluo filtra dall'alto verso il basso e viene raccolto sul fondo. A differenza del sistema orizzontale, il verticale ha un'elevata capacità di nitrificazione (dovuto alla maggior ossigenazione del sistema, visto il carico intermittente), ma risulta più scomodo e con rese minori per diversi parametri come il BOD e gli Solidi Sospesi Totali TSS. Per questo motivo è una tipologia di trattamento che affianca altre metodologie in sistemi ibridi (per esempio con fitodepurazione orizzontale). La figura 1.9 mostra il funzionamento di questo impianto a flusso verticale.

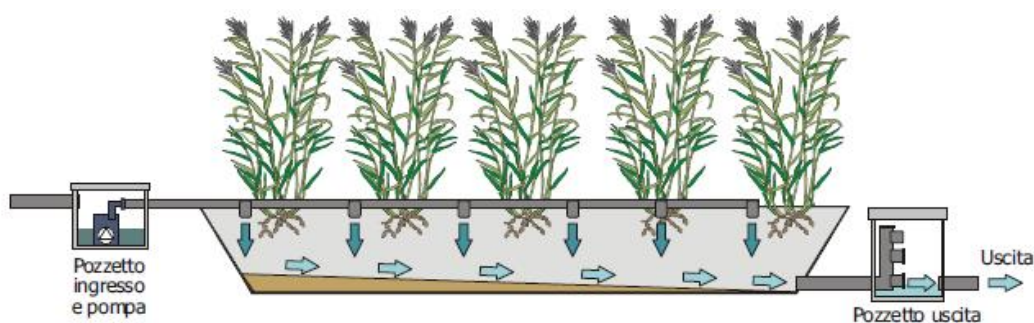


Fig. 1.9: Schema a sistema a flusso sommerso con movimento verticale (APAT, 2005)

I parametri principali nel dimensionamento sono la portata e il tempo di ritenzione. Da questi due parametri, grazie a formule cinetiche di primo grado (EPA, Kadlec & Knight, ecc), si ricavano le dimensioni dell'impianto, per l'abbattimento del BOD e dei nutrienti principali. Il tempo di ritenzione dell'acqua grigia nel sistema varia molto in base al carico di BOD e di nutrienti che si ha nell'acqua da trattare, ma in genere i tempi variano da 1 a 7 giorni.

Un sistema di questo tipo ben funzionante garantisce una rimozione di BOD (80-90%), TSS (80-95%), azoto totale (15-40%) e fosforo totale (30-45%). (Morel-Diener, 2006). Questo tipo di trattamento è molto buono nei paesi tropicali, mentre nei paesi dove si possono raggiungere basse temperature si hanno problematiche con la formazione di ghiaccio. In paesi aridi con alta evapotraspirazione, un sistema come questo può anche risultare a scarico zero, cioè senza la formazione di alcun refluo trattato, tutto viene evapotraspirato.

Un altro punto importante è la scelta delle piante. La vegetazione per il trattamento deve essere resistente alla presenza di sostanze inquinanti, resistente ai climi più difficili, avere un alto tasso di assorbimento delle sostanze inquinanti e facile da mantenere. Inoltre è sempre meglio scegliere delle specie locali per evitare uno scompenso nell'ecosistema. Tra le diverse tipologie di piante, quelle più utilizzate in Europa sono *Phragmites australis* (la comune canna), *Typha* (tife) e *Scirpus* (giunco). Queste piante hanno tutte le caratteristiche richieste, ma possono avere solo alcune problematiche legate alla mancanza di nutrienti azotati nell'acqua grigia (Dallas, 2002).

Si tratta di un sistema di facile gestione, infatti la fitodepurazione ha in sé tutti i vantaggi dei sistemi di depurazione naturali, tra cui la semplicità di conduzione, l'assenza di consumi energetici e di reagenti chimici. Tale tipologia depurativa necessita qualche leggera operazione di mantenimento in più rispetto a un semplice filtro non piantato, ma si tratta di un semplice monitoraggio del livello dell'acqua e

della salute delle piante. Nel primo periodo di vita del sistema, bisogna curare il filtro estirpando le piante che non sono state scelte nel trattamento. Il filtro orizzontale piantato ha una durata di vita media di circa 20 anni (APAT, 2005).

La figura 1.10 mostra un semplice esempio di impianto di fitodepurazione per una famiglia di circa 5 persone. Questa immagine mostra come tale sistema si sposa al meglio con il paesaggio circostante senza creare alcun "inquinamento" visivo.



Fig. 1.10: Esempio di un impianto di fitodepurazione orizzontale monofamiliare in Sri Lanka (Morel e Diener, 2006)

Un altro fattore da tenere molto in considerazione è l'evapotraspirazione; negli ultimi anni gli sforzi per incrementare le rese o migliorare l'affidabilità di questa tipologia di trattamento, si sono concentrati sullo studio della componente dovuta all'evapotraspirazione (ET) per l'attività delle macrofite utilizzate per la depurazione. Negli impianti di fitodepurazione, sia a flusso orizzontale che verticale, il bilancio idraulico è semplificato in quanto sono idraulicamente isolati e non c'è un'interazione con il terreno. Di conseguenza, i componenti principali del sistema idrologico sono la pioggia, l'acqua reflua in entrata e l'evapotraspirazione.

Allo stesso modo l'ET diminuisce il volume di acqua reflua e di conseguenza l'uscita di acqua trattata. Dato poi che la maggior parte delle regioni climatiche hanno una stagione secca e una delle piogge, le perdite per evotraspirazione hanno un forte impatto stagionale (Kadlec e Wallace, 2009). Lo studio della ET può migliorare notevolmente il design di queste tipologie di impianto e produrre migliori sistemi modellistici (Borin et al. 2010). Borin et al. nel 2010 hanno studiato l'effetto dell'ET su un sistema di fitodepurazione orizzontale piantumato con *Phragmites Australis*.

- ***Fitodepurazione a flusso sommerso a movimento orizzontale***

Per quanto riguarda il dimensionamento dell'impianto di fitodepurazione a flusso sommerso a movimento orizzontale è stato evidenziato come l'ET può influenzare il volume d'acqua in uscita e la sua qualità, con evidenti effetti sulle possibilità di riuso di questa acqua reflua. La tabella 1.17 riassume gli aspetti di questa tipologia di trattamento secondario. Essendo questo una tipologia di trattamento naturale, esso risulta decisamente adatto al trattamento di acque reflue di piccole comunità. Infatti

non richiede alcun consumo energetico o di reagenti chimici, e di semplice manutenzione e può sostenere carichi idraulici e di inquinanti variabili. Tutto questo garantendo ottime rese depurative. Unica problematica è la necessità di grosse spazi per contenere l'impianto con l'aumentare delle portate da trattare.

FITODEPURAZIONE A FLUSSO ORIZZONTALE	
Funzionamento	Il refluo fluisce di continuo orizzontalmente attraverso il mezzo filtrante piantumato. Le piante garantiscono un ambiente appropriato per la crescita di batteri e il trasferimento di ossigeno nella zona delle radici. La componente organica e i solidi sospesi sono rimossi per filtrazione e degradazione macrobiotica in condizione aerobiche e anaerobiche.
Criteri design	HRT= 3-7d; OLR= 5-10 gBOD/m ² /d; H= 0.5-0.8m
Resa	BOD = 80-90%; TSS = 80-95%; TN = 15-40%; TP = 30-45%
Vantaggi	Ottima efficienza di rimozione; l'acqua reflua scorre al di sotto del terreno garantendo l'assenza di odori, mosche e contatto con l'utilizzatore dell'impianto; economico e gradevole alla vista
Svantaggi	Per grosse portate sono richieste grandi dimensioni; possibili ostruzioni; necessità buon materiale filtrante

Tab. 1.17: Principali aspetti funzionamento fitodepurazione flusso orizzontale (Morel e Diener, 2006)

- **Fitodepurazione a flusso sommerso a movimento verticale**

Il sistema ha le stesse caratteristiche del filtro a sabbia verticale, mostrato precedentemente. Le piante, oltre a migliorare il trattamento delle sostanze nutrienti, aiutano a mantenere la conduttività idraulica del letto. Questi filtri sono scavati direttamente nel terreno contenuti da uno strato impermeabile, o costruiti in vasche di cemento o plastica. L'acqua percola attraverso i vari strati del filtro, viene purificata e raccolta al fondo da un sistema di drenaggio. Il materiale filtrante è vario (ci sono anche impianti con letti di vetro rotto), ma generalmente si usa sabbia grossolana o ghiaia.

La profondità del filtro è variabile, ma la regione autonoma del Trentino Alto-adige (B.U, n. 24, 2002) rifacendosi alla Oenorm- Bepflanzte Bodenfilter (normativa austriaca nell'ambito del riutilizzo delle acque grigie tramite trattamenti di fitodepurazione), consiglia una profondità di 1 metro caratterizzata da strati di ghiaia, sabbia e uno strato di drenaggio (ghiaia) sul fondo.

L'efficienza di rimozione è alta: 75-95% di BOD, 65-85% di TSS, 90% di ammoniaca (NH₄⁺) (ma decisamente minore di azoto totale, data una bassa denitrificazione, Morel e Diener, 2006) e circa 35% di fosforo totale. Alto è invece il tasso di nitrificazione, dato che il sistema intermittente, permette una maggiore ossigenazione del mezzo poroso. Per questo motivo questo sistema si affianca molto bene a un sistema naturale a flusso orizzontale, creando sistemi ibridi di alta efficienza, dove quello verticale funge da pre o post nitrificazione. (Masotti-Verlicchi, 2005).

Si tratta di un ottimo impianto per il trattamento delle acque grigie, con l'unico difetto che il funzionamento discontinuo e la necessità di utilizzare energia elettrica per l'attivazione di una pompa, lo rendono inadatto in paesi dove l'offerta di energia elettrica è bassa ed ad alti costi. La figura 1.11 mostra una vista longitudinale degli strati di un sistema a flusso verticale. A uno strato superficiale di ghiaia grossa segue quello principale di sabbia che poggia su un altro strato di ghiaia con la funzione di drenaggio.

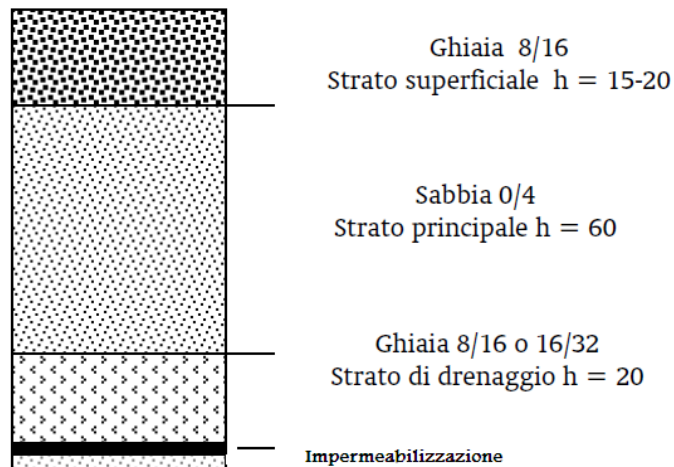


Fig. 1.11 Strati in un sistema di fitodepurazione verticale

La tabella 1.18 riassume gli aspetti di questa tipologia di trattamento secondario. Tale tipologia di trattamento ha tutti i vantaggi di un sistema naturale (come la fitodepurazione orizzontale) con l'unico limite di un'alimentazione ad intermittenza che richiede l'utilizzo di sistemi di alimentazione elettrici. Le rese sono ottime, leggermente inferiori per BOD e TSS rispetto a un sistema orizzontale, ma permette un maggior grado di nitrificazione.

FITODEPURAZIONE A FLUSSO VERTICALE	
Funzionamento	Il refluo viene versato a intermittenza sulla superficie piantumata del filtro. Le piante garantiscono un ambiente appropriato per la crescita di batteri e il trasferimento di ossigeno nella zona delle radici. La componente organica e i solidi sospesi sono rimossi per filtrazione e degradazione macrobiotica in condizione aerobiche e anaerobiche.
Criteri design	HLR= 10-20 cm/d; OLR= 10-20 gBOD/m ² /d; H= 0.8-1.2m
Resa	BOD = 75-95%; TSS = 65-85%; TN ≤ 60%; TP < 35%
Vantaggi	Buona efficienza di rimozione; l'acqua reflua scorre al di sotto del terreno garantendo l'assenza di odori, mosche e contatto con l'utilizzatore dell'impianto; economico e gradevole alla vista
Svantaggi	Necessità un buon funzionamento del sistema di alimentazione a intermittenza del refluo; possibili ostruzioni del filtro; mezzo filtrante di buona qualità; mantenimento e monitoraggio frequenti

Tab. 1.18: Principali aspetti funzionamento fitodepurazione a flusso verticale (Morel e Diener, 2006)

✓ Lagunaggio

Si tratta di un sistema naturale composto da bacini scavati nel terreno, nei quali il liquame soggiorna per tempi adeguatamente prolungati ed è soggetta ad una depurazione prevalentemente biologica. La differenza rispetto ad un sistema di fitodepurazione a flusso superficiale è che, nel caso del lagunaggio, l'acqua ha un movimento praticamente nullo e tende al ristagnamento (infatti questi impianti sono anche definiti *stagni biologici*).

Il dimensionamento avviene sulla base del limite massimo di carico organico che le varie fosse possono sostenere a una determinata temperatura. La figura 1.12 mostra il legame tra questi due fattori (Sasse, 1998).

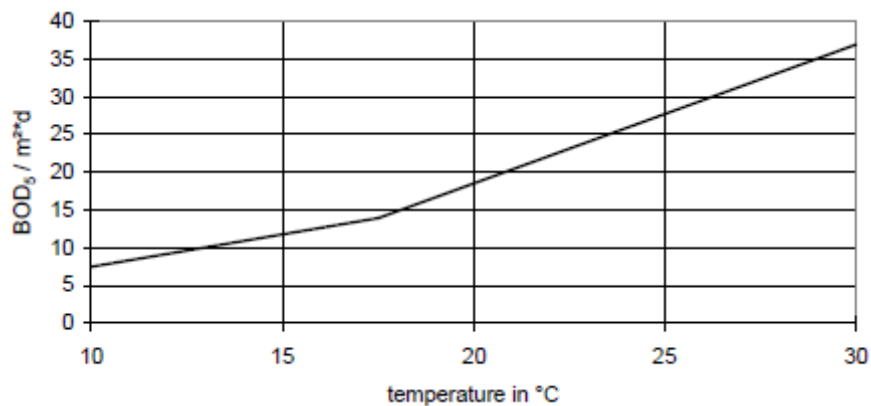


Fig. 1.12 Legame tra temperatura e carico di BOD applicabile (Sasse, 1998)

Definito quindi il carico, gli stagni biologici si differiscono per la loro profondità (quindi altezza dell'acqua) e da qui si differenziano per il tipo di trattamento che devono assolvere: secondario o di affinamento. Abbiamo tre diverse tipologie di bacini di lagunaggio:

- **Stagni Aerobici:** hanno profondità modeste (0.4-0.6 m), caratteristica che permette un'illuminazione completa di tutti gli strati e quindi la fotosintesi algale si sviluppa in tutta la massa d'acqua. È necessario però un carico organico basso che richiede grandi superfici. Sono usati prevalentemente con funzione di affinamento.
- **Stagni anaerobici:** hanno alte profondità (4-6 m), con un grande carico organico. Il processo depurativo avviene solo per via anaerobica, creando grossi problemi di esalazioni moleste che limitano l'utilizzo a sole piccole comunità.
- **Stagni aerobici-anaerobici:** hanno una profondità tra 1-2 m e un carico organico superficiale limitato. In superficie si instaurano condizioni aerobiche, mentre in profondità anaerobiche. In genere sono utilizzati come trattamenti secondari o di affinamento a valle di grossi impianti convenzionali.

I tempi di ritenzione idraulica HRT variano molto e per gli stagni aerobici-anaerobici si hanno valori compresi tra 25 e 180 giorni, in relazione al carico di BOD da trattare e soprattutto alla temperatura minima a cui sono esposti. Le rese sono buone: in uno studio su 178 impianti in Francia (di potenzialità non superiore a 1000 AE) sono stati registrati valori di 85-93% sul BOD e 75-80% sui TSS. L'abbattimento di azoto è strettamente legato alla temperatura esterna, e in estate sono stati raggiunti valori del 60-70% (sempre in Francia). L'abbattimento della carica microbica raggiunge anche il 99.9% con elevate temperature estive. (Masotti e Verlicchi, 2005).

La gestione è particolarmente semplice e l'impianto tende a naturalizzarsi diventando facilmente un'oasi di ripopolamento per volatili e animali palustri. La problematica delle dimensioni, degli odori sgradevoli che si possono generare e della proliferazione di insetti, lo rendono però una tipologia di non facilissima applicabilità. E' necessario un buon trattamento per evitare la presenza di materiale grossolano nei bacini; comunque è un sistema molto utilizzato in USA e in alcuni paesi Europei: per esempio nella sola Baviera se ne contano circa 1500 (Masotti e Verlicchi, 2005). La figura 1.13 mostra un tipico stagno biologico all'interno di un ambiente naturale.



Fig. 1.13: Esempio di stagno biologico in Svezia

La tabella 1.19 riassume gli aspetti di questa tipologia di trattamento. Il fatto di costruire un ambiente con una forte biodiversità, come quello palustre, è decisamente l'aspetto più affascinante. Inoltre si raggiungono buone rese depurative a livelli sia della matrice organica, sia sui nutrienti e sui microrganismi. Le grosse aree necessarie, odori e proliferazione di insetti, rendono però questa tipologia di sistema di difficile applicabilità se non in regioni che offrono ampi spazi, temperature non troppo rigide e bassa presenza di insetti.

LAGUNAGGIO	
Funzionamento	Il refluo entra e soggiorna (ristagna) per tempi adeguatamente prolungati all'interno di bacini di accumulo dove è soggetto a una depurazione naturale prevalentemente di tipo biologico
Criteri design	OLR= 40-90 gBOD/m ² /d (con T>15°C); HRT = 25 – 180 d (da temperatura min) H= 0.4-5m (dal tipo di trattamento)
Resa	BOD = 85-93%; TSS = 75-80%; TN ≤ 70%
Vantaggi	Buona efficienza di rimozione; creazione di ambiente naturale e rivalutazione paesaggistica
Svantaggi	Necessari pretrattamenti, possibili odori sgradevoli, ampi spazi, proliferazione di insetti

Tab. 1.19: Principali aspetti di funzionamento del lagunaggio

1.3.1.3 Smaltimento

Generalmente nei PVS le acque grigie vengono scaricate non trattate in canali di drenaggio, in campi, oppure vengono rilasciate in corpi idrici superficiali aumentando la torbidità, l'eutrofizzazione, la contaminazione di agenti microbiologici e chimici, nonché la riduzione dell'ossigeno disciolto. La conseguenza è la proliferazione di insetti portatori di malattie infettive, che in esse si riproducono. Generalmente le destinazioni delle acque grigie sono le seguenti (Ridderstolpe, 2004):

- Scarico delle acque grigie in corpi idrici superficiali (stagni, laghi, fiumi, mare);
- Infiltrazione nel suolo, con possibile ricarica dell'acqua di falda;
- Riutilizzo delle acque per l'irrigazione di campi agricoli.

Lo smaltimento di acque grigie trattate, che sia attraverso lo scarico in corpi idrici superficiali o infiltrazione nel suolo e ricarica delle falde, potrebbe essere visto invece, come un modo indiretto di riuso a lungo termine, una volta che rientra nel ciclo idrologico (Tchobanoglous, 1991)

Per quanto riguarda il trattamento delle acque grigie, non viene mai richiesto un trattamento terziario o di disinfezione (dato il minor grado di inquinamento del refluo) (Morel-Diener, 2006). All'uscita dal trattamento secondario, quindi, l'acqua depurata può essere riutilizzata in ambito agricolo/domestico (se vengono raggiunti i limiti richiesti dalla legislazione), oppure infiltrata direttamente nel terreno. Di seguito si riporta un scenario di smaltimento:

- **Filtrazione diretta nel terreno**

L'acqua grigia viene infiltrata in maniera controllata all'interno del suolo. All'interno del terreno insaturo l'acqua subisce un trattamento di filtrazione e degradazione biologica da parte dei batteri presenti. Generalmente il sistema è costituito da tubazione perforate avvolte da uno strato di ghiaia in modo da disperdere in maniera ampia e uniforme il refluo. La funzionalità e la possibilità di usare questo sistema dipende dal tipo di terreno in cui viene scaricata l'acqua. In argilla possono essere infiltrate massimo 20 l/d/m² di acqua grigia pre-trattata, mentre in sabbia fine anche 50 L/d/m² (Morel e Diener 2006).

In Mali (Alderlieste et al, 2005) sono stati costruiti diversi sistemi di flottazione seguiti da una filtrazione diretta nel terreno, garantendo rese del 70-80% sul BOD e > 60% su TN e TP. In questo modo è stata eliminata la problematica dell'acqua grigia all'interno del villaggio per un costo decisamente basso (circa 150 \$ per unità di infiltrazione). La tabella 1.20 mostra il tasso di percolazione e il carico applicabile per le diverse tipologie di terreno (Morel e Diener 2006).

Tipo terreno	Tasso percolazione (min/cm)	Carico applicabile (l/m ² /d)
Ghiaia, sabbia grossa	< 0.4	NON utilizzabile
Sabbia media	0.4 – 2	50
Sabbia fine	2 – 6	30
Sabbia limosa	6 – 12	25
Limo	12 – 25	20
Limo argilloso	25 – 50	8
Argilla	> 50	NON utilizzabile

Tab. 1.20: Percolazione e carico idraulico applicabile nelle tipologie di terreno (Morel-Diener, 2006)

La tabella 1.21 riassume gli aspetti della filtrazione diretta nel terreno. E sicuramente il miglior modo di chiudere il trattamento depurativo di un'acqua grigia se questa non viene riutilizzata o immessa in un corpo idrico superficiale.

FILTRAZIONE DIRETTA NEL TERRENO	
Funzionamento	Infiltrazione dell'acqua reflua nel terreno per trincea, il trattamento avviene per filtrazione, assorbimento e azione microbiologica con il terreno
Criteri design	Zona insatura d'acqua= 0.6-1.2 m; Carico applicabile= 20-50 l/m ² /d
Resa	BOD = 70-80%; TN = 30-60%; TP = 60-90%; Faecal C. ≤ 4 log
Vantaggi	Semplice ed economico; ricarica la falda acquifera; poche operazioni di mantenimento
Svantaggi	Può essere applicato solo in terreni appropriati; richiede una profondità sufficiente di terreno insaturo sopra la falda; buon pre-trattamento per evitare ostruzioni

Tab. 1.21: Principali aspetti di funzionamento dell'infiltrazione diretta nel terreno

1.3.1.4 Riutilizzo

Oasis (2005) elenca una serie di punti che vanno presi in considerazione quando si riusano acque grigie, per ridurre i rischi sull'ambiente e sulla salute:

- Evitare l'utilizzo di irrigatori per distribuire l'acqua grigia, ma usare sistemi di irrigazione superficiale, che non sono soggetti a intasamenti;
- È preferibile non utilizzare acqua grigia sulle piante che danno origine a cibo consumato crudo entro pochi giorni, perché composti chimici derivanti da detersivi e saponi, contenuti negli scarichi della casa, potrebbero richiedere lunghi tempi per scomparire mentre, quelli derivanti dal bagno potrebbero essere soggetti alla presenza di scarti umani;
- Non permettere agli animali di bere acqua grigia per evitare conseguenze negative sui loro sistemi digestivi;
- Monitorare le maleodorazioni e il possibile ristagno di acqua grigia;
- Scegliere i giusti saponi e detersivi a basso apporto di sostanze nocive;
- L'acqua grigia non dovrebbe essere stoccata per più di 24 ore prima del riuso, perché la Domanda Biologica di Ossigeno (BOD) aumenta col passare del tempo.
- Prestare attenzione che l'acqua grigia non contamini l'acqua potabile che viene distribuita attraverso condotte che accidentalmente possono fessurarsi o presentare infiltrazioni nei giunti;
- Monitorare nel tempo l'impatto dell'irrigazione con acqua grigia sul giardino/terreno.

Christova Boal et al. (1996), stabiliscono che l'infiltrazione e l'irrigazione di acque non trattate causa un aumento dell'alcalinità dell'acqua, dovuta a concentrazioni elevate di detersivi, e conseguenze negative sulle piante e sul terreno. Allo stesso modo, un'ingestione di organismi patogeni nel corpo umano, attraverso il consumo di verdura irrigata con acque non trattate, è una delle principali vie di trasmissione di malattie. Dixon, Butler and Fewkes (1999) hanno sottolineato i rischi per la salute umana associati alla contaminazione microbiologica delle acque grigie, facendo un'analisi di rischio legata alla potenziale presenza di microrganismi e hanno posto le basi per la stesura di linee guida per il riuso dell'acqua grigia.

• Rapporto di assorbimento di sodio (SAR)

Un parametro legato indirettamente alla conducibilità è il rapporto di assorbimento di sodio (SAR) che rappresenta il contenuto di tre principali sali che si trovano in un'acqua grigia (sodio, magnesio e calcio: questi ultimi due determinano anche la durezza di un'acqua). Per un uso agricolo dell'acqua grigia tale rapporto non dovrebbe superare il valore pari a 3. La formula per il calcolo del SAR è la seguente:

$$SAR = [Na^+] / \{([Mg^{++}] + [Ca^{++}]) / 2\}^{0.5}$$

La possibile rimozione di magnesio durante il trattamento dell'acqua o un'eccessiva concentrazione di sodio nell'acqua, potrebbe condurre a un aumento del SAR, costringendo ad utilizzare l'acqua grigia solo per quelle colture caratterizzate da livelli di tolleranza al sodio più alti, quali pomodori, peperoni, orzo (Hernández et al., 2011) e frumento, grano alto, barbabietole³.

Un'alta concentrazione di ioni di sodio in acqua interessa la permeabilità del terreno e causa problemi di infiltrazione. Ciò avviene perché il sodio una volta presente nel terreno in forma scambiabile sostituisce il calcio ed il magnesio assorbiti dall'argilla del terreno e causa la dispersione delle particelle del suolo. Altri problemi causati al

³ <http://www.lenntech.it/applicazioni/irrigazione/sar/pericolo-sar-irrigazione.htm>

raccolto da un eccesso di sodio sono la formazione di letti di semi incrostati, la saturazione provvisoria del terreno superficiale, un alto pH ed un potenziale aumentato di malattie, erbacce, erosione del terreno, mancanza di ossigeno e inadeguata disponibilità di sostanze nutrienti. L'acqua riciclata può essere una fonte di sodio in eccesso nel terreno rispetto ad altri cationi (Ca, K, Mg) e quindi dovrebbe essere giustamente controllato.³

Di seguito in tabella 1.22 sono riportati i range di accettabilità del SAR.

Pericolo SAR per l'acqua di irrigazione		
	SAR	Note
Nessuno	< 3	Nessuna restrizione nell'uso di acqua riciclata
Da debole a moderato	3-9	da 3 a 6 attenzione ai raccolti sensibili (frutta, noci, agrumi, fagioli). da 6 a 8 per raccolti non sensibili. I terreni dovrebbero essere monitorati per 1 o 2 anni per determinare se l'acqua stia causando un aumento di sodio.
Acuto	>9	Danno severo. Acqua non utilizzabile.

Tab. 1.22: Accettabilità dell'acqua destinata ad irrigazione in relazione al SAR
Fonte: <http://www.lenntech.it/applicazioni/irrigazione/sar/pericolo-sar-irrigazione.htm>

Vi è una corrispondenza tra il rapporto di assorbimento di sodio (SAR) e conducibilità elettrica (Tabella 1.23).

SAR/Pericolo di salinità per acqua di irrigazione						
se SAR è:	0-3	3-6	6-12	12-20	20-40	
se EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) è:	700	> 1200	> 1900	> 2900	> 5000	Nessuno
	700	1200	1900	2900	5000	Debole
	200	300	500	1300	2900	Moderato
	< 200	< 300	< 500	< 1300	< 2900	Alto

Tab. 1.23: Rischio di inaccettabilità dell'acqua grigia destinata all'irrigazione, in relazione al rapporto tra SAR e conducibilità elettrica
Fonte: <http://www.lenntech.it/applicazioni/irrigazione/sar/pericolo-sar-irrigazione.htm>

1.5 CASI APPLICATIVI

La tabella 1.24 mostra in elenco alcuni tra i vari casi di studio sul trattamento delle acque grigie nel mondo. In particolar modo questi casi sono relativi ai PVS. Vengono elencati luoghi, tipologia di refluo trattato (in genere acqua grigia), i trattamenti usati, le dimensioni degli impianti e il periodo di monitoraggio. In particolar modo sono stati scelti quei casi di studio dove sono state utilizzate tecnologie che poi sono state scelte nell'applicazione del caso di Ciudad de Guayana, Venezuela, analizzato in questo lavoro.

Luogo	Tipo refluo	Trattamento	Scala	Risultati	Tempo	Autore
Djenne, MALI	Acqua grigia	Trappola olii + infiltrazione suolo	+100 famiglie	70% Coli F.	3 anni	Alderieste et al
Monteverde, COSTARICA	Acqua grigia	Sed + HFPF Lagunaggio	+4 famiglie	98% BOD, TN, Coli F.	1 anno	Dallas et al
Kathmandu, NEPAL	Acqua grigia	Sed + VFPP	1 famiglia	97% BOD, 90% NH4	2 anni	Shrestha et al
Al Beida, GIORDANIA	Acqua grigia	Sed + F.AN + HFF	25 famiglie	90% BOD (F.AN) 88% BOD (HFF) 85% TSS (F.AN) 50% TSS (HFF)	2 anni	Al-Jayyousi et al
Belien, PALESTINA	Acqua grigia	FS + F.AN (up) F.AN	+1 famiglia	75-95% BOD	2 anni	Burnat et al
Kuching, MALESIA	Acqua grigia	Reattore AN + F.A HFPF	+9 famiglie	99% BOD e O&G, 97% TSS, 92% TN	2 anni	Jensen et al
Kandy, SRI LANKA	Cucina+ Lavatrice	Trappola olii+ FS+F.AN+ VFPP	Hotel	44% BOD	3 anni	Corea et al
Ginebro, COLOMBIA	Acque reflue tot	FS+F.AN+ HFPF	Pilota	80%BOD, 85% SST, 71% Coli F, 18% TN	2 mesi	Madera et al
MESSICO	Acque reflue tot	FS+ 3 HFPF (con diverse piante)	Pilota	85%BOD, 40%TP, 90%NH4	1 mese	Romeco et al
UK	Acque grigie	VFUW e VFPP	Pilota	94.8% COD (VFUW) 93.3% COD (VFPP)	4 mesi	Kadewa et al

Legenda:

Sed= sedimentatore

FS= fossa settica

F.AN= filtro anaerobico

F.AN (up)= filtro anaerobico flusso up-flow

F.A= filtro aerobico

HFF= filtro a flusso orizzontale

HFPF= filtro piantato a flusso orizzontale (fitodepurazione)

VFPP= filtro piantato a flusso verticale (fitodepurazione)

VFUW= wetland non piantata a flusso verticale (impianto prototipo, Kadewa, 2010)

Tab. 1.24 : Elenco di alcuni casi di studio analizzati

Di seguito vengono riportati, in maniera riassuntiva, i casi di studio più significativi:

- **Monteverde, COSTA RICA (Dallas et al, 2002)**

L'esperienza è stata effettuata a Monteverde, un villaggio a quota 1200 m in Costa Rica. Qui le case sono generalmente monofamigliari e caratterizzate dallo scarico di acque nere in fossa settica e delle acque grigie direttamente in strada. Data una valenza eco-turistica dell'area, il progetto ha voluto implementare il trattamento delle acque grigie di 4 case, per poi estenderlo a tutto il villaggio. L'acqua viene pre-trattata in un serbatoio di stabilizzazione per 15 ore, quindi entra in un impianto di fitodepurazione a flusso orizzontale e infine viene convogliata in un laghetto artificiale poco profondo contenete diverse piante acquatiche e pesci, (Figura 1.14).

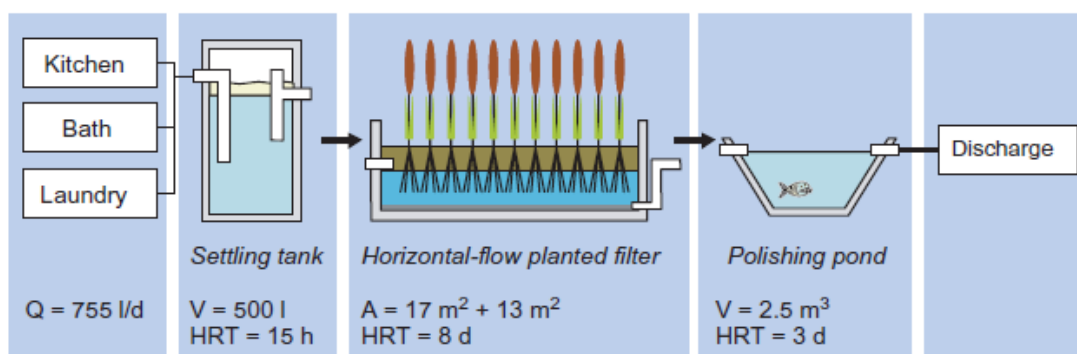


Fig. 1.14: Schema impianto a Monteverde, Costa Rica (Morel e Diener 2006)

La portata d'acqua trattato è di circa 750 L/d che viene convogliato in un serbatoio da 500 L per un tempo di permanenza di 15 ore. Quindi entra nel sistema di fitodepurazione costituito da 2 filtri orizzontali piantata a canneto di circa 14 m² l'uno. Tali impianti sono riempiti di materiale poroso (roccia locale frantumata con porosità del 40%) e piantati con una specie vegetale macrofita locale (*Coix Lacrymajobi*). Il tempo di ritenzione idraulico minimo è di 7.9 giorni. Dopo essere filtrata in questo sistema, l'acqua entra in un laghetto con un volume di circa 2,5 m³, abitato da piante acquatiche e pesci, che hanno funzione di controllo della riproduzione degli insetti. Tale laghetto ha uno scopo principalmente ornamentale e decisamente marginale nel trattamento dell'acqua. L'intero progetto è costato circa 1500 USD e un impegno di circa 200 ore di lavoro.

La campagna di monitoraggio è durata da marzo 2001, ad agosto (2002) e ha fornito dei risultati medi riportati nella tabella 1.25 sottostante.

Parametri	Entrata	Uscita	Resa %
BOD (mg/L)	167	2	98.8
Turbidity (NTU)	96	2	98
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	8.4	0.1	98.8
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	7.6	2.3	70
Coli Fecali (cfu/100mL)	1.5x10 ⁸	69	99
Temperatura (°C)	21	20	
pH	6.3	6.8	

Tab. 1.25: Risultati e rese su diversi parametri in Costa Rica (Dallas et al, 2002)

Si nota chiaramente il grande successo di tale sistema nelle rese di depurazione sia della sostanza organica che dei nutrienti. Dato poi la sua grande economicità, risulta decisamente un'ottima soluzione. Oltre ad alcune problematiche relative a casi di ostruzioni del filtro, un limite del sistema sono le dimensioni, che per il trattamento di 4 case (circa 18 persone) richiede un'area superiore a 20 m². La gestione invece risulta semplice, in quanto si tratta di un tipico schema a trattamenti naturali.

- **Ein al Beida, GIORDANIA (Al Jayyousi, 2003)**

L'esperienza è stata effettuata presso l'area urbana di Ein al Beida nel sud della Giordania. La disponibilità media di acqua è meno di 500 m³ a famiglia l'anno e dato un consumo medio di 120 l/p/d (compreso irrigazione del giardino), la situazione è di grave limitatezza delle risorse idriche. Per questo motivo l'obiettivo del progetto è quello di risparmiare la maggior quantità possibile di acqua fresca, tramite il riutilizzo

dell'acqua grigia. Il trattamento è stato implementato presso 25 famiglie per un totale di 155 persone. Sono stati sviluppati due sistemi in parallelo:

- l'acqua grigia viene collettata in un primo serbatoio che funge da trappola per oli e grassi (da 160 litri), quindi viene inviata tramite una pompa a 2 barili ripieni di materiale filtrante che fungono da filtro anaerobico (per un tempo di ritenzione di 1-2 giorni), quindi l'acqua viene inviata a un ultimo serbatoio di accumulo per essere usata nell'irrigazione;
- l'acqua grigia viene collettata in un primo serbatoio e poi inviata a un filtro a flusso orizzontale (per un tempo di ritenzione di 2-3 giorni), quindi inviata al serbatoio di accumulo. (Figura 1.15).

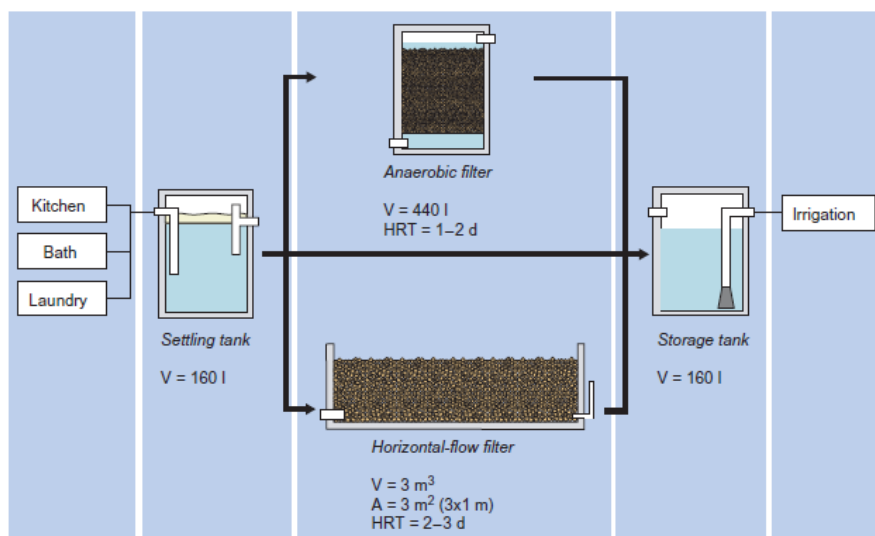


Fig. 1.15: Schema impianto Ein Al Beida, Giordania (Morel e Diener 2006)

Il sistema a filtro anaerobico ha un costo di 370 USD per una portata pari al consumo di 6 persone, mentre in sistema a filtro orizzontale ha un costo di 500 USD per trattare la portata scaricata da 12 persone.

L'intero progetto è durato 3 anni (dal 2001 al 2003) e ha fornito i risultati riportati nella tabella 1.26 sottostante :

	INflow	Filtro anaerobico ¹	Resa%	Filtro orizzontale ²	Resa%
BOD (mg/L)	1500	450	70	171	88.5
TSS (mg/L)	316	128	60	156	50.5
O&G (mg/L)	141	31	78	/	/

¹ monitoraggio di 11 mesi; ² monitoraggio 3 mesi

Tab. 1.26: Risultati casi di studio in Giordania (Al Joyyousi, 2003)

Dal caso di studio risulta come il filtro a flusso orizzontale abbia delle rese depurative maggiori per il BOD (di quasi 20% in più), mentre minori per quanto riguarda i TSS (di circa il 10%).

✓ Ginebra, COLOMBIA (Madera et al 2001)

L'esperienza è stata effettuata presso la cittadina di Ginebro, Valle del Cauca, Colombia. In Colombia c'è una grande problematica circa la contaminazione delle fonti idriche, portando l'attenzione scientifica alla ricerca di modi per risparmiare e

riutilizzare l'acqua in agricoltura. Il caso di studio è costituito da un impianto pilota per il trattamento delle acque reflue domestiche (sia nere che grigie), composto da un pre-trattamento in fossa settica (FS) + filtro anaerobico (F.AN) + fitodepurazione a flusso orizzontale (HFPP). La figura 1.16, di seguito mostra questo sistema pilota.



Fig. 1.16: Impianto pilota a Ginebro, Colombia (Madera, 2001)

L'impianto è caratterizzato dalle dimensioni e tempi di ritenzione per ogni comparto, riportate nella tabella 1.27, sottostante:

	Portata Q (m ³ /d)	HRT (d)	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Profondità (m)
Fossa Settica FS	1.36	0.5		1.5	1.2
Filtro Anaerobico F.AN	1.36	0.5		1.5	1.6
HFPP (pianta <i>Scirpus</i>)	1.36	0.5	2.25	0.7	0.6

Tab. 1.27: Dimensioni e tempi di ritenzione per ogni scomparto dell'impianto

L'esperimento è stato effettuato in diverse sessioni, ognuna delle quali per la durata di un mese con analisi dei parametri quali BOD, TSS, TN, TP, COD, coliformi fecali e uova di elminti. In ogni sessione veniva variata percentualmente la portata entrante (Q pari a 1.36 m³/d) dallo 0.25% in più a 3 volte tanto. Di seguito, nella tabella 1.28 sono riportate le rese percentuali per i diversi parametri, calcolati in media, con la portata Q e con il doppio della portata.

	Media %	Q % (1.36 m ³ /d)	2Q % (2.72 m ³ /d)
BOD	75	82	68
TSS	86	87	87
TP	18	15	19
Coli F.	71	69	74

Tab. 1.28: Rese depurative medie al variare della portata e in media

Dai risultati si evidenzia che la modifica nella portata non registra grandi differenze nelle rese depurative a riguardo di parametri come TSS e TP. Si nota invece una differenza per i coliformi fecali, la cui resa aumenta leggermente all'aumentare della portata, e per il BOD che mostra invece un abbassamento della resa di depurazione aumentando la portata trattata. Comunque sia questo sistema garantisce buoni risultati per quanto riguarda il trattamento della materia organica, invece meno per i nutrienti. Esso mantiene una buona efficienza anche nel caso di variazioni della portata fino al doppio di quella di progetto.

✓ **Cuernavaca, Morelos, MEXICO (Romero Aguilar et al, 2009)**

L'esperienza è stata effettuata nella città di Cuernavaca, presso l'Università del Estado de Morelos, Mexico. Data l'insufficienza di impianti di trattamento di acque reflue in Messico, è nata la necessità di trovare sistemi di depurazione alternativi ed economici da adottare nelle aree meno sviluppate del paese.

L'impianto, di tipo pilota, tratta acque reflue di origine domestica. Esso è composto da una fossa settica (FS), seguita da 3 piccoli impianti di fitodepurazione a flusso orizzontale (HFPP), posti in serie. Di questi, i primi due sono stati piantati con 2 specie differenti (*Phragmites Australis* e *Typha Dominguensis*), mentre nell'ultimo sono presenti entrambe le specie. I vasi hanno dimensioni di 0.9 m x 0.6 m x 0.8 m. La prima fase della sperimentazione è stata effettuata calcolando le rese di depurazione sul BOD a diversi tempi di ritenzione. Il tempo di permanenza è variato da 2 a 7 giorni e sono state individuate rese depurative ottimali tra i 3 e i 4 giorni. Quindi con il tempo di ritenzione migliore è stato effettuato un calcolo sul COD, il fosforo totale, l'azoto ammoniacale e la carica batterica.

Le analisi sono state effettuate all'entrata, e all'uscita dei 3 diversi vasi. Di seguito, in tabella 1.29, sono riportate le rese depurative all'uscita dal terzo vaso per un tempo di permanenza di circa 3 giorni. Nel report non viene citata la dimensione della portata trattata, viene semplicemente commentato che ogni prova è stata effettuata con la stessa quantità d'acqua ma con concentrazioni di inquinanti diversi, poiché provenienti da diverse fonti.

Parametro	Conc. IN (mg/L)	Conc. OUT (mg/L)	Rese %
BOD	280 – 18	40 – 12.5	85
TP	1.96	1.17	40
NH ₄ ⁺	173.2	15.5	90

Tab. 1.29: Valori entrata e uscita e rese depurative dell'impianto in Mexico, (Aguilar et al, 2009)

Si nota che a questi tempi di permanenza le rese sia sulla matrice organica che su quella dei nutrienti sono buone. Il sistema è dunque funzionale come alternativa di trattamento delle acque, a patto di un tempo di ritenzione ottimale e di un pre-trattamento in fossa settica.

1.6 CONCLUSIONI

- ✓ Le acque grigie sono una tematica molto importante, dal punto di vista della ricerca per lo sviluppo di tecnologie appropriate; questo tema ha avuto uno sviluppo progressivo della letteratura scientifica a riguardo sul tema che permette di approfondire gli aspetti quantitativi, qualitativi, normativi, tecnologici del trattamento, smaltimento al riutilizzo.
- ✓ Le normative ambientali per il trattamento delle acque grigie sono maggiormente presenti nei paesi sviluppati: è dunque necessario che questa regolamentazione normativa nei PVS sia ancor più diffusa e rigorosa, poiché le problematiche hanno un impatto molto forte sulla salute della comunità e l'ambiente circostante.
- ✓ I sistemi di trattamento delle acque grigie sono sostanzialmente dipendenti dalla destinazione d'uso finale dell'effluente prodotto. Le strategie di gestione dovrebbero essere orientate a generare un effluente adatto al riutilizzo agricolo o la cui qualità permetta un suo scarico sicuro nel suolo o in un corpo idrico superficiale.
- ✓ Tra i trattamenti secondari appropriati nell'ambito dei PVS più importanti e diffusi sono la filtrazione anaerobica, la fitodepurazione, il lagunaggio e sistema UASB: tra questi possibili sistemi sono state scelte le tecniche da implementare nel caso studio di Ciudad Guayana in Venezuela.

CASO STUDIO “CIUDAD GUAYANA” IN VENEZUELA

CAPITOLO II: INQUADRAMENTO AMBIENTALE E ANALISI MULTI CRITERIA PER SCELTA DELLE TECNOLOGIE APPROPRIATE

2.1 INTRODUZIONE

L'attività di ricerca ha visto lo svolgimento di tre missioni sul campo. La prima missione è stata effettuata dal 6 novembre 2010 al 13 dicembre 2010, con l'obiettivo di realizzare un inquadramento territoriale ed ambientale dell'area. Tale lavoro è stato effettuato tramite una ricognizione in loco con questionari diretti alla popolazione, agli enti locali, associazioni, Università, ecc. per capire le condizioni di vita della popolazione presente nel quartiere di Moscù a Ciudad de Guyana, area periferica caratterizzata da problematiche socio-economiche ed ambientali che provocano forti disagi alla popolazione locale. (Vedere questionario e risultati in Appendice A e B).

In questo ambito l'attività di ricerca ha avuto lo scopo di analizzare gli aspetti ambientali e di individuare le soluzioni più appropriate per risolverli, utilizzando la metodologia di analisi multi criteria (AMC). Da questa attività si è ottenuto un inquadramento dell'area di intervento, si sono individuate le problematiche ambientali del quartiere più sentite dalla popolazione e, di conseguenza, le soluzioni più appropriate.

2.2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E AMBIENTALE DI CIUDAD GUAYANA, VENEZUELA

2.2.1 Inquadramento territoriale

Ciudad de Guayana è una città di circa 850.000 abitanti, caratterizzata da un'area metropolitana di circa 1'400.000 persone. È la capitale dello stato di Bolivar, fondata il 2 luglio 1961 inglobando gli abitati di Puerto Ordaz e San Felix alla foce del fiume Orinoco (Fig. 2.1). Nasce come una nuova città pianificata per l'impresa statale *Corporación Venezolana de Guayana* (CVG) e l'impresa Orinoco Mining Company. La parte antica della città si trova a San Felix, dove si possono ancora trovare i resti della missione dei frati Cappuccini catalani nel XVIII. Oggi la città sta avendo un forte sviluppo industriale (soprattutto siderurgico) e turistico. Inoltre il porto sul delta dell'Orinoco ne determina il ruolo di forte snodo commerciale.



Fig. 2.1: Localizzazione geografica di Ciudad de Guayana in Venezuela
www.sybelium.com/photos/Voyages/Venezuela.html

Il quartiere (chiamato *barrio*) di Moscù, ubicato nel settore di San Felix a nord della città, ha un'area di circa 30.000 m² con una popolazione di circa 1600 persone divise in 250 famiglie. L'area di intervento, il settore Moscù II, ha un'area approssimativamente di circa 12000 m² e una popolazione di circa 75 famiglie (il numero esatto è difficile da reperire perché in una singola abitazione vivono anche più famiglie e non permanentemente). Quest'area ha avuto un forte sviluppo urbanistico a partire dagli anni 70, dato il forte sviluppo industriale che ha avuto la metropoli (Figura 2.2).



Fig. 2.2: Localizzazione del barrio di Moscù a nord est della città (google.maps)

Il quartiere è formato da case di circa 4 metri di lunghezza per 10 m di profondità, con muri di mattone, legno o lamine di zinco e tetti in materiale bituminoso o in metallo (Figura 2.3). Il materiale di cui è costituita la casa mostra spesso la situazione economica della famiglia che l'ha abita.



Fig. 2.3: Tipica casa presente nel quartiere con muri in lamina di zinco

In maniera sintetica e in accordo alla missione effettuata nell'autunno 2010, si riscontrano i seguenti parametri generali per il quartiere:

- 100% di copertura per casa di acqua potabile;
- 100% di copertura elettrica;
- uso di gas naturale come combustibile in 58 case, elettrico in 6 case e legna per 5 case;
- la raccolta delle acque reflue avviene mediante l'uso di una fossa settica in 43 case, in fognatura in 9 case e 17 abitazioni non presentano alcun sistema di allontanamento o sconfinamento dei reflui;
- la raccolta dei rifiuti è un servizio piuttosto inefficiente e la municipalità la raccoglie circa ogni 2 mesi
- le strade sono asfaltate per entrare nel quartiere, mentre all'interno di questo sono generalmente in terra;
- la porzione di territorio su cui si colloca il quartiere, ha una pendenza di circa 2° in direzione nord.

La figura 2.4 mostra la mappa del quartiere di Moscù. Ad est è evidenziato il settore II, cioè l'area di intervento. Non esistono informazioni cartografiche presenti all'ufficio del catasto comunale e i dati sono stati raccolti nella missione. Infine per quanto riguarda l'acqua grigia, solo le case dotate di fognatura hanno un sistema di raccolta, altrimenti queste sono scaricate generalmente nelle strade del quartiere.

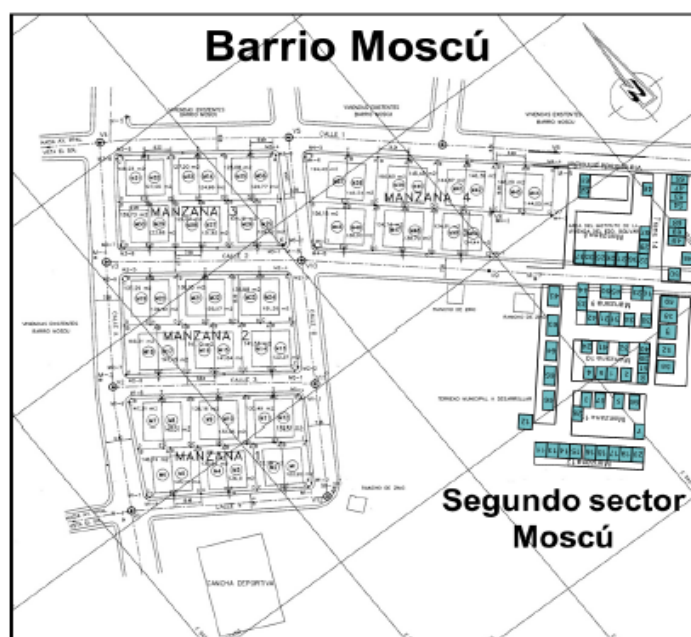


Fig. 2.4: Mappa del quartiere Moscú. Evidenziato sulla destra si nota l'area di intervento

2.2.2 Inquadramento ambientale

Le problematiche principali di tipo ambientale che si sono incontrate nel quartiere di Moscú II sono relative alle acque potabili, le acque reflue grigie e nere e i rifiuti solidi. Nel caso delle acque potabili il problema è presente nella rete di distribuzione che si trovano in superficie, esposta al variare delle condizioni climatiche e generalmente si trovano in uno stato deteriorato. I tubi si trovano spesso anche a contatto con l'acqua grigia presente nelle strade del quartiere. Le acque grigie e nere sono colettate insieme solamente nelle abitazioni allacciate alla rete fognaria (cioè circa il 10% delle case).

Nelle altre l'acqua grigia viene scaricata direttamente per le strade del quartiere riducendo la vivibilità del quartiere e provocando una maggiore proliferazione di insetti e propagazione di malattie. Quest'acqua proviene dall'attività quotidiana della famiglia residente che non viene trattata da nessun sistema con provenienza da cucina, bagno e lavanderia. Altro problema molto sentito è la gestione dei rifiuti che è praticamente inesistente nel settore. La totalità della popolazione del quartiere è servita da energia elettrica, anche se le infrastrutture sono precarie e il servizio è spesso intermittente.

2.2.2.1 Acqua potabile

La fonte di approvvigionamento di acqua potabile proviene dal fiume Caroni, precisamente dal bacino di captazione del lago di Gil. Questo sistema è caratterizzato da una serie di diverse pompe che prelevano l'acqua e la inviano ad un impianto di trattamento così da fornire acqua potabile. L'azienda gestore per il trattamento e la distribuzione dell'acqua è la statale Hidrobolivar. L'impianto di potabilizzazione è caratterizzato dalle seguenti fasi di trattamento (Figura 2.5):

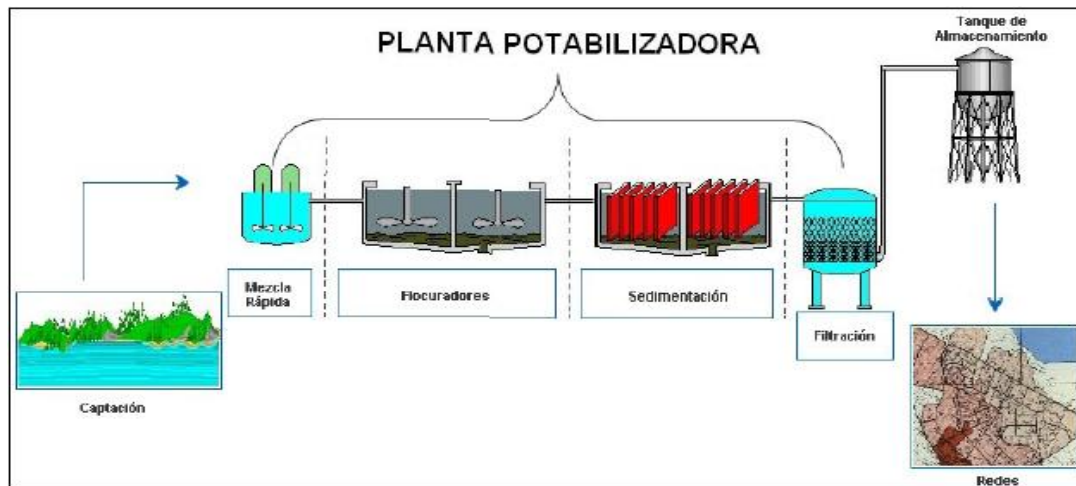


Fig. 2.5: Schema dell'impianto di potabilizzazione dell'acqua a Ciudad Guyana (Fonte: Hidrobolivar)

- Chiariflocculazione: consiste nella rimozione delle particelle fini composta da materia organica e minerale in sospensione. Questo trattamento si divide in: coagulazione, flocculazione, sedimentazione e filtrazione. Tramite i processi di coagulazione e flocculazione le particelle fini sospese si agglomerano in fiocchi pesanti che precipitano. Quindi questi fiocchi sedimentano e l'acqua viene filtrata rendendola chiarificata.
- Disinfezione: consiste nella rimozione delle componenti dei microrganismi. Nel caso specifico di questo impianto di potabilizzazione, essa avviene tramite il dosaggio di cloro.

La quantità di acqua a disposizione nel quartiere di Moscú II per famiglia è di circa 100 L/d, con una media di 20 L/d per persona (Hidrobolivar). Il sistema di distribuzione è composto da tubi in gomma con presenza di falle e posti in superficie. Questa situazione fa sì che i buchi presenti nei tubi dell'acquedotto sono a contatto con l'acqua grigia esponendo l'acqua potabile a possibile rischi di contaminazione.

Nella figura 2.6 è rappresentata una mappa della rete di distribuzione del quartiere, mentre a destra si nota come i tubi scorrono superficialmente esposti al deterioramento dei fenomeni climatici e agenti stranieri (schiacciamenti auto messi).



Fig 2.6: Mappa con indicazione del percorso del sistema di aprovisionamento di acqua potabile (immagine a sinistra) e situazione presente nel quartiere (immagine centrale e di destra) (Missione in loco CeTAmb)

La missione in loco svolta ha voluto studiare anche la diffusione di eventuali trattamenti a livello domestico dell'acqua ad uso potabile. Il questionario consegnato ha mostrato che il 38% delle famiglie utilizza dei semplici sistemi di trattamento quali filtri in tela o l'ebollizione dell'acqua prima di consumarla. Il restante 62% delle famiglie non adotta invece alcun trattamento.

Ciò determina molti problemi di salute soprattutto nei bambini e infatti la diarrea è la principale patologia infantile riscontrata. Nella tabella 2.1 seguente, sono riportati i valori delle analisi effettuate dalla Fundacion La Salle, nel 2009.

PARAMETRO	VALORE	LIMITI NORMATIVI
pH	6.4-6.7	6.5-8.5
Torbidità (NTU)	0.05	<1
Nitrati (mg/L)	/	/
Solfati (mg/L)	5.47-6.17	< 250
Solidi sospesi disciolti (mg/L)	9.7-26	< 600
Fe (mg/L)	0.17-0.29	< 0.1
Cu (mg/L)	< 0.01	< 1
Mn (mg/L)	< 0.015	< 0.1
Zn (mg/L)	< 0.005	< 3
Al (mg/L)	0.11-0.25	< 0.1
Coliformi fecali (UFC/100 mL)	Presenti (> 1.1 %)	Assenti (< 1.1%)

Tab. 2.1: Valori relativi all'acqua potabile del quartiere di Moscú
Fonte: Laboratorio Fundacion La Salle, 2009

Dalla tabella si nota come l'acqua rispetti buona parte dei limiti richiesti. C'è da considerare che non si hanno valori in gran parte di parametri soprattutto biologici, ma soprattutto la presenza di Coliformi Fecali all'interno dell'acqua potabile deduce una problematica di tipo sanitario in tutto l'apparato di approvvigionamento idrico.

2.2.2.2 Acqua di scarico di tipo nero

Per quanto riguarda le acque reflue nere, i sistemi di raccolta e trattamento sono diversi nel quartiere.

Su 69 case si sono riscontrate/rilevate:

- 43 con sistema di fossa settica;
- 9 case scaricano in un sistema di fognatura;
- 17 case non hanno nessun sistema di trattamento.

Nella figura 2.7 sono evidenziati i sistemi di raccolta e di trattamento delle acque reflue presenti nelle case del quartiere.

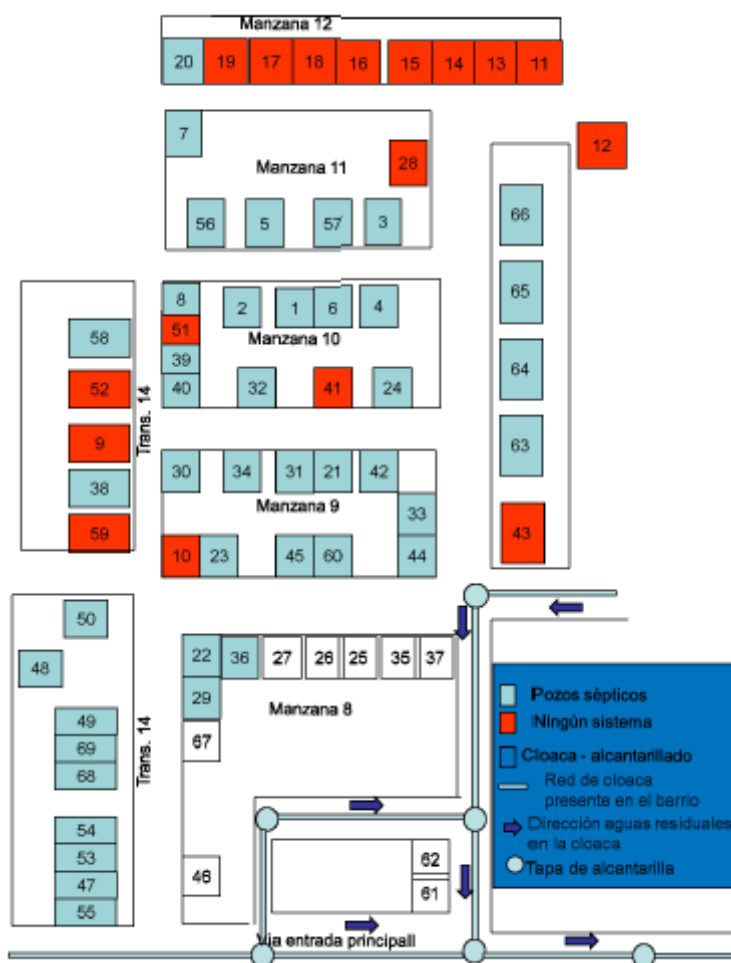


Fig. 2.7: Mappa del quartiere con segnate le tipologie di trattamento delle acque reflue in ogni abitazione

Le case con sistema fognario raccolgono sia le acque nere che quelle grigie che vengono trasportate in un depuratore sempre gestito dalla Hydrobolivar per poi essere scaricate nel fiume Caroni. Questa piccola rete fognaria non arriva in tutto il quartiere ed è sottodimensionata, infatti si hanno frequenti fuoriuscite di acqua reflua soprattutto nei periodi piovosi. Inoltre non è possibile effettuare nuovi allacciamenti a questa vecchia rete e ciò porta a dover scegliere dei sistemi di trattamento casa per casa, finché non verrà costruito un nuovo sistema fognario.

La maggior parte delle abitazioni è dotata di una fossa settica. Tale sistema consiste in una semplice fossa dove tutti i liquami provenienti dai servizi igienici sono collettati. Nel quartiere non esistono esperienze di recupero o svuotamento delle fosse settiche. Semplicemente quando una è completamente piena, il proprietario costruisce un altro pozzo vicino a quello vecchio. In altre parti della città invece (tipo Puerto Ordáz), esiste un servizio di spurgo delle fosse settiche.



Fig. 2.8: Esempio di una tipica latrina a Moscù che scarica in una fossa settica

La figura 2.8 mostra un tipico esempio di latrina presente nel quartiere. Si trova in genere all'interno di costruzioni in calcestruzzo e scarica direttamente in una fossa settica interrata.

Durante la prima missione dell'anno 2010 si è potuto osservare come vengono realizzati i pozzi settici da parte dei proprietari delle case interessate, utilizzando i propri fondi economici disponibili per portare avanti la costruzione. Nelle foto seguenti (Figure 2.9 e 2.10) si possono apprezzare le diverse fasi di costruzione, dalla realizzazione del buco di profondità 1,5 metri, con pareti in mattoni, fondo di pietra triturrata, chiuso poi mantenendo un tubo di aerazione fuoriuscente dal terreno.



Fig. 2.9: Realizzazione di buco e pareti del pozzo settico



Fig 2.10 - Chiusura del pozzo, realizzazione di una copertura e di un tubo di ventilazione

2.2.2.3 Acqua grigia

Come già citato, la problematica delle acque grigie è molto sentita nel quartiere. Tutte le case non collegate al sistema fognario (quindi circa il 90%), scaricano queste acque per le strade del quartiere.

L'acqua inonda le strade creando forti disagi dal punto di vista viario (strade inondate), sanitario (diarrea, dengue, ecc) ed ecologico. L'acqua poi può contaminare l'acqua potabile (Figura 2.11).



Fig. 2.11: Tubo di condotta di acqua potabile a contatto con acqua grigia

L'acqua scorre seguendo la pendenza del terreno verso nord, raggiungendo distanze anche di 4 km dal quartiere. L'ora di picco è generalmente verso le 10.00 del mattino e presenta una portata di circa 4 litri al minuto. Essendo questa la problematica più sentita dalla popolazione e su questo argomento è stata posta l'attenzione da parte dei promotori di questo progetto. La figura 2.12 mostra chiaramente come l'acqua inondi le strade del quartiere creando grossi disagi alla popolazione.



Fig. 2.12: Acqua grigia che scorre liberamente per le strade di Moscù (Missione in loco CeTAmb)

La figura 2.13 mostra il verso di scorrimento delle acque grigie all'interno del quartiere Moscù II.

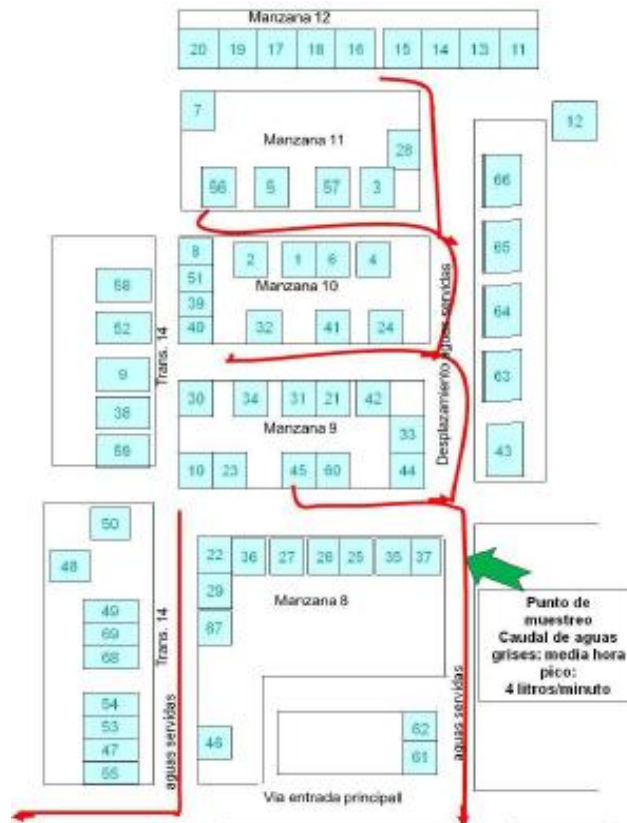


Fig. 2.13: Scorrimento delle acque grigie all'interno di Moscù

2.2.2.4 Rifiuti solidi

Anche l'aspetto della gestione dei rifiuti è considerata critica a Moscù. Infatti non esiste nessun tipo di servizio garantito e permanente di raccolta e smaltimento dei rifiuti. Questi vengono depositati direttamente in prossimità delle abitazioni o in zone di raccolta definite dalla popolazione (nei terreni posti nelle vicinanze del quartiere). I rifiuti sono sia di tipo organico che inorganico, con provenienza dall'utilizzo della

cucina, della pulizia personale e della pulizia della casa. Vengono posti in sacchi di plastica gettati ai bordi delle case.

Esiste un servizio di raccolta inefficiente, che è svolto dalla *Corporacion Servicios Patrioticos*, la quale passa a raccogliere i rifiuti una volta ogni due mesi. Nel quartiere comunque non esistono attività produttive o microimprese, ed inoltre non esiste nessun tipo di raccolta differenziata. La plastica e gli imballaggi sono in percentuale, in termini di volume maggiore con circa il 20% del totale di rifiuti prodotto. Mentre i residui organici dalla cucina sono circa il 15% del volume totale, la carta circa il 10% e il vetro circa il 10%.

Dai dati raccolti durante la missione è emerso che ogni famiglia produce circa 25 Kg di rifiuti alla settimana (che per una famiglia media composta da 4 persone, equivale a circa 0.9 kg/ab d). Non esistono progetti pilota nella zona per il riciclaggio o il recupero del materiale solido residuo.

La figura 2.14 mostra la gestione dei rifiuti all'interno del quartiere. Si nota come vengano gettati direttamente per le strade e vicino alle abitazioni. Nella mappa a sinistra i pallini arancioni segnano le zone di scarico della spazzatura.



Fig. 2.14: Situazione della gestione dei rifiuti a Moscù (Missione in loco CeTAmb)

2.3 ANALISI MULTI CRITERIA (AMC) PER LA SCELTA TECNOLOGICA APPROPRIATA PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE

2.3.1 Metodo di Analisi Multi Criteria AMC

L'Analisi Multi Criteria (AMC) è uno strumento valutativo, che, come metodologia applicata nei processi decisionali, permette rappresentare gli eventuali conflitti tra gli indicatori e rendere evidente e trasparenti gli elementi soggettivi, specialmente dove l'intervento vuole tenere conto di criteri eterogenei nella valutazione, come accade nei progetti di sviluppo umano (Garfi', 2008).

Per il caso studio del Venezuela la metodologia usata per sviluppare AMC è stata proposta da Marianna Garfi' nell'anno 2008, con la sua tesi di dottorato di ricerca intitolata *"Creazione di una metodologia multi criteria per la valutazione dei progetti di sviluppo umano"*. Secondo Garfi' la metodologia permette avere una serie di vantaggi:

- avere una visione più ampia del problema e di tener conto di vari aspetti che interagiscono all'interno di un progetto di sviluppo umano con un approccio integrato e multi disciplinario;
- affrontare la possibilità di considerare per la valutazione diversi criteri, differenti anche per tipologia (per esempio criteri ambientali, progettuali, sociali ecc.);
- consente l'inserimento di informazioni qualitative e quantitative, aspetto fondamentale quando non sono disponibili dati precisi, come spesso accade nei PVS;
- consente il coinvolgimento diretto di più esperti, gruppi di interesse e parti interessate. La partecipazione e l'accettazione dei risultati da parte delle comunità locali è uno degli aspetti più importanti tra quelli che devono essere considerati in un progetto di cooperazione nei PVS, dove l'obiettivo generale è lo sviluppo umano;
- l'analisi è trasparente per i partecipanti;
- consente di controllare la coerenza dei giudizi espressi;

Nel seguito si farà una breve sintesi degli aspetti metodologici e teorici dell'AMC che Garfi' ha descritto. La metodologia si suddivide in cinque principali fasi:

- la definizione di una o più matrici di valutazione, che valuta gli effetti delle alternative;
- la normalizzazione della o delle matrici di valutazione;
- l'assegnazione di "pesi" ai criteri, che riporta l'importanza assunta da ciascun criterio a seconda delle scale di valori assegnati;
- il calcolo degli ordinamenti;
- l'analisi di sensitività o analisi di coerenza e consistenza dei giudizi.

La matrice di valutazione: La matrice di valutazione è una matrice bidimensionale, che rappresenta criteri o variabili decisionali. In essa vengono registrati gli elementi della matrice. Nella metodologia per la valutazione dei progetti di sviluppo umano si è pensato di suddividere i criteri in "Criteri Generali" (CG) e "Criteri Specifici" (C). Mentre i primi (CG) si riferiscono ai criteri/attributi/sotto-obiettivi relativi alle tecnologie appropriate e ai progetti di sviluppo in generale, i secondi (C) si riferiscono alle tecnologie appropriate con informazione più specifica del caso studio.

La normalizzazione: La normalizzazione serve per rendere omogenei e operabili i dati contenuti nella matrice, trasformando questi dati in valori che per convenzione sono dimensionali con una o più funzioni logico matematiche. Per il caso studio della scelta tecnologica in Venezuela, la normalizzazione sarà del tipo lineare che operano sui valori contenuti in ogni singola riga della matrice:

$$\text{Vettore normalizzazione} = x / (\sum x^2)$$

L'assegnazione dei pesi: L'assegnazione dei pesi relativi ai criteri serve a stabilire un ordine di importanza relativa. La tecnica di assegnazione dei pesi più comunemente usata è l'assegnazione diretta e il confronto a coppie; per il caso studio Venezuela si userà il confronto a coppie, dove punteggi vengono assegnati ad ogni criterio confrontandolo con tutti gli altri.

Il Confronto a Coppie: Ciascun criterio va confrontato, pertanto si deve rispondere la domanda: "Di quanto è più importante il criterio C₁ rispetto al criterio C₂, C₃ rispetto all'obiettivo generale?". Le risposte vengono organizzate in matrici di confronti a coppie (Tabella 2.2). In cui la preferenza o importanza relativa (M₁) di C₁ su C₂ è il reciproco di quella di C₂ su C₁ (1/M₁). Nella diagonale principale ci sarà il valore 1 che rappresenta il confronto dell'elemento con se stesso.

	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/M ₁	M ₂
C ₂	M ₁	1	M ₃
C ₃	1/M ₂	1/M ₃	1

Tab. 2.2: Esempio di matrice a coppia tra i criteri C₁, C₂, C₃ (Saaty 1980)

La scala che prevede una relazione tra valori qualitativi e valori numerici e la scala di importanza relativa di Saaty (1980), Secondo la quale il valore dato (tra 1 e 9) rappresenta l'importanza relativa tra i due criteri: Uguale 1; Debole 3; Significativa 5; Forte 7; Assoluta 9; Valori intermedi 2, 4, 6, 8.

Calcolo degli ordinamenti: È il calcolo degli ordinamenti dei criteri, combinando pesi e indicatori rispetto a ciascun criterio. Il metodo più comuni è la somma pesata che prevede che ogni indicatore adimensionale sia moltiplicato per il peso del criterio corrispondente e sommato con quelli della stessa riga di appartenenza.

Calcolo dei pesi relativi: Per il calcolo dei pesi relativi, si utilizza la tecnica dell'autovalore massimo di Saaty: $A W = \lambda W$

Dove:

A è la matrice del confronto a coppie originale (non normalizzata);

n è il numero di elementi della matrice (quindi il numero di criteri o alternative);

W è il vettore incognito dei pesi relativi;

Valutazione della consistenza: L'obiettivo del calcolo dell'indice di consistenza è quello di determinare se i confronti sono coerenti al fine di contribuire a rendere l'analisi più accurata ed affidabile. Si elencano le operazioni di calcolo per la determinazione dell'indice di consistenza (Canada, 1989; Rao, 2007):

Determinare il vettore consistenza **C** moltiplicando la matrice originale (non normalizzata) del confronto a coppie **A** per il vettore dei pesi relativi calcolati **W** (ottenendo il così chiamato vettore somma pesata) e infine dividendo il vettore ottenuto per i pesi relativi calcolati;

- Vettore somma pesata: $\vec{I} = [A] \times \vec{W}$
- Vettore consistenza:

$$\vec{C} = \begin{bmatrix} \frac{I_1}{w_1} \\ \dots \\ \frac{I_z}{w_z} \end{bmatrix}$$

Calcolare l'Indice di Consistenza (CI) come segue: $CI = (\lambda - n)/(n-1)$

Dove:

λ : media degli elementi del vettore consistenza

n : numero delle colonne della matrice del confronto a coppie;

Calcolare il Rapporto di Consistenza (CR) definito come segue: $CR = CI / RI$

Dove RI è chiamato "random index" e dipende dal numero degli elementi. Se $CR < 0,10$ il rapporto indica un livello ragionevole di coerenza, invece se $CR \geq 0,10$, il valore del rapporto indica incoerenza nei giudizi dati per il confronto a coppie dei criteri o delle alternative. Il procedimento può essere ripetuto in maniera iterativa fino a quando non si arrivi ad un valore del CI inferiore al limite tollerato del 10%, utilizzato per matrici con un numero di elementi minore di 9, mentre per matrici con un numero di elementi maggiore è consentito un CI maggiore di 10%.

Confronto delle alternative: Il punteggio finale di ogni alternativa sarà calcolato come somma pesata sui pesi dei criteri. Per ogni alternativa si sommeranno i prodotti tra il peso di ogni alternativa rispetto ad ogni criterio per il peso relativo del rispettivo criterio preso in considerazione. E' possibile scegliere una scala di valori negativi e positivi per definire se il criterio, è soddisfatto o meno, migliora o meno la situazione, favorisce o meno il raggiungimento dell'obiettivo generale. Per il caso studio del Venezuela verrà utilizzato un set di valori che varia da -2 a 2, come è stato suggerito da CIFOR, 1999:

-2: Il criterio ha una forte e negativa influenza sull'alternativa.

-1: Il criterio ha una influenza negativa sull'alternativa.

0: Il criterio non influisce sull'alternativa

+1: Il criterio ha una influenza positiva sull'alternativa.

+2: Il criterio ha una forte e positiva influenza sull'alternativa

L'ultimo passo è quello di moltiplicare il punteggio dato per i rispettivi pesi e di farne la somma. L'alternativa migliore sarà quella con punteggio finale maggiore.

2.3.2 Analisi Multi Criteria per la valutazione del caso studio in Venezuela

Il primo passo riguarda l'individuazione del problema: *"Migliorare le condizioni igieniche ed ambientali del quartiere Moscu II, tramite una soluzione appropriata per il trattamento delle acque grigie"*, seguito dalla identificazione e selezione dei criteri.

2.3.2.1 Identificazione e selezione dei criteri

Garfi' (2008) suggerisce come criteri generali CG delle tecnologie appropriate quelli scritti nella seguente tabella 2.3

CRITERI GENERALI TECNOLOGIE APPROPRIATE (CG)			
	Tipologia		Criteri
Aspetti tecnici e ambientali	Caratteristiche Tecniche ⁴	CG A	CG1 Utilizzo risorse locali e riproducibilità
			CG2 Utilizzo di tecnologie a piccola scala
	Impatto ambientale ^{1:2:4}	CG B	CG3 Emissioni in atmosfera
			CG4 Inquinamento acque e scarichi idrici
			CG5 Produzione rifiuti
			CG6 Rumore
			CG7 Occupazione di suolo
			CG8 Impatto visivo
	Consumo risorse ^{1:4}	CG C	CG9 Consumo combustibile o energie non rinnovabili
			CG10 Consumo di acqua
			CG11 Consumo materie prime non rinnovabili
	Gestione ^{4:2}	CG D	CG12 Facilità gestionale
Aspetti sociali	Partecipazione delle comunità	CG E	CG13 Partecipazione della comunità ^{4:2}
			CG14 Accesso alla tecnologia per tutti i membri della comunità ⁴
	Condizioni di vita	CG F	CG15 Condizioni di vita di tutta la comunità ^{4:3:2:1}
			CG16 Rispetto della cultura locale ⁴
	Uguaglianza e migrazione	CG G	CG17 Superamento conflitti o discriminazione tra diversi gruppi della comunità (es condizione della donna) ^{4:3}
			CG18 Utilizzo, accettazione e radicamento della tecnologia da parte di tutta la comunità ⁴
			CG19 Migrazione per mancanza accesso risorse e povertà ⁴
	Salute	CG H	CG20 Salute della comunità (es: sicurezza alimentare, diminuzione malattie, diminuzione mortalità infantile, condizioni igieniche) ^{1:2:3}
Aspetti economici	Accesso alla tecnologia	CG I	CG21 Fruibilità e accesso per basso costo ⁴
			CG22 Incentivo al mercato locale ^{4:2}

1 Obiettivi del Millennio (MDG)

2 SPHERE PROJECT "The Sphere Project. Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response".

3 UNDP, Human Development Report

4 "Field Guide to Appropriate Technology", Barrett Hazeltine, Chris B

Tab. 2.3: Criteri Generali (CG) per i progetti di sviluppo umano (Garfi', 2008)

In tabella 2,4 si presenta un modello di matrice con criteri specifici (C) per il trattamento dell'acque grigie, basato sul modello della tabella dei criteri specifici (C) per il trattamento dell'acqua al punto d'uso proposto da Garfi' (2008).

CRITERI SPECIFICI (C)		TRATTAMENTO DELLE ACQUE GRIGIE
		Criteri
Aspetti tecnici e ambientali	C1	Compatibilità con caratteristiche ambientali/geologiche/metereologiche
	C2	Flessibilità di utilizzo della tecnologia
	C3	Capacità di essere replicabili
	C4	Costo della tecnologia e manutenzione
	C5	Superficie disponibile per la costruzione
Qualità	C6	Rispetto standard normativo per scarico in corpo di acqua superficiale e riutilizzo
	C7	Mantenimento della qualità dell' acqua nel tempo 6
	C8	Mantenimento della qualità dell' acqua nel punto di stoccaggio e distribuzione per riutilizzo 6
	C9	Diminuzione possibilità di contaminazione successiva
Quantità e Riutilizzo	C10	Quantità disponibili
	C11	Vicinanza al luogo di trattamento
	C12	Costanza nella possibilità di riutilizzo

Tab. 2.4: Criteri specifici (C) settore trattamento delle acque grigie

2.3.2.2 Aspetti principali nella scelta delle tecnologie applicate (caso di Ciudad de Guayana, Venezuela)

Come base per confrontare i criteri generali CG e specifici C proposti, a continuazione si presenta una valutazione per diverse alternative di soluzione al trattamento delle acque grigie nel caso studio venezuelano.

La scelta delle tecnologie di trattamento è stata sviluppata in modo da incontrare, al meglio, le necessità della popolazione, in relazione con le risorse disponibili e i fattori locali che caratterizzano l'area da sviluppare (Ahmed-Rahman, 2003). Nel caso di studio i bisogni delle persone sono principalmente connessi alla salute, convenienza e disponibilità di risorse incluso la disponibilità economica, lo spazio e le competenze.

I fattori locali che influenzano la natura del progetto sono principalmente legati alla situazione ambientale presente: il clima, le risorse idriche (superficiali e sotterranee) e gli obiettivi igienici; nonché alla situazione socio-economica e istituzionale. Il concetto di "convenienza" include fattori come il tempo impiegato per il funzionamento della tecnologia utilizzata, la locazione delle strutture e se queste sono realmente convenienti a tutti gli utenti (Ahmed-Rahman, 2003).

La problematica presa in considerazione nel caso di studio del Barrio Moscù a Ciudad Guayana (Venezuela), è relativa alla gestione delle acque reflue, in particolar modo quelle grigie. Come già detto, queste acque vengono scaricate liberamente per le strade del quartiere provocando problematiche sanitarie e ovviamente anche ecologiche.

Sono molteplici le tecnologie di trattamento disponibili per il trattamento di queste acque e molteplici sono le combinazioni tecnologiche che si possono utilizzare per il raggiungimento degli obiettivi richiesti. Al fine di arricchire la valutazione delle tecnologie più idonee al caso studiato, si devono analizzare aspetti come:

Sanitari: l'aspetto sanitario è sicuramente fondamentale. Si parla di acque reflue contenenti alte concentrazioni di sostanze inquinanti e microrganismi patogeni che possono creare problemi di salute alla popolazione residente e soprattutto ai bambini (che la utilizzano a scopo ricreativo). Due sono i fattori più importanti:

- inquinanti: il trattamento deve essere tale da garantire un buon abbattimento della sostanza organica e dei microrganismi patogeni;
- insetti: data la presenza di numerosi insetti portatori di malattie (tra cui malaria, dengue, ecc.), è necessario evitare la presenza di acqua stagnante che potrebbe facilitarne la riproduzione.

Sociali: la tecnologia si deve scegliere cercando di evitare un qualsiasi disturbo alla popolazione che, anzi, deve essere invogliata all'utilizzo di questa. I fattori presi in considerazione sono:

- area occupata dall'impianto: evitare l'utilizzo di ampi spazi sia nel caso di singole case che per l'intero quartiere;
- estetica: l'inserimento dell'impianto nel contesto;
- odore: evitare la produzione di odori molesti;
- comprensibilità: la tecnologia deve essere facilmente comprensibile alla popolazione locale (caratterizzata da un livello medio basso di studio), in modo tale da ottenere un atteggiamento positivo.

Ambientali: I fattori in considerazione sono:

- inquinamento: il trattamento deve avere una buona resa sui principali nutrienti e sui parametri microbiologici;
- riutilizzo: un recupero in campo agricolo, civile o industriale dell'acqua deve essere valutato e quindi andrà considerato il raggiungimento di valori accettabili con le normative vigenti;
- generazione sottoprodotti: la tecnologia scelta deve determinare la minor formazione di sottoprodotti per evitare una nuova possibile fonte di inquinamento;
- consumo energetico: data la difficoltà legata all'approvvigionamento elettrico di questi contesti, è consigliabile adottare tecnologie che non richiedano l'uso di energia elettrica.

Economici: come già sottolineato, l'aspetto economico è fondamentale nell'attuazione di qualsiasi progetto. Nel caso di paesi in via di sviluppo, esso è di grande attualità. I fattori che sono stati presi in considerazione sono:

- costo di costruzione;
- costo di gestione;
- possibili finanziamenti da enti governative e non.

Gestionali: oltre all'aspetto economico della gestione a lungo periodo è da considerare l'impegno necessario per il funzionamento dell'opzione di trattamento. I fattori presi in considerazione sono:

- l'impegno necessario per il mantenimento dell'impianto, dal punto di vista di tempo utilizzato e condizioni di lavoro
- il grado di conoscenza necessaria per mantenere l'opera in modo adeguato e senza comprometterne le rese.

Gli aspetti sopra esposti andranno valutati in funzione della scala di applicazione (es. domestica, di quartiere, ecc). e adatte al caso di studio preso in considerazione all'interno dei Criteri Generali (CG) e Criteri Specifici (C), per realizzare la scelta della soluzione tecnologica più appropriata al contesto venezuelano.

2.3.2.3 Soluzione previste per il caso di studio

Per il caso di studio venezuelano, sono state analizzate 4 possibili soluzioni di trattamento secondario: ogni tecnologia viene descritta in maniera riassuntiva, visto che sono già state descritte in maniera più approfondita nel capitolo 1, sezione 1.3; le possibili soluzioni di trattamenti sono:

- 1. UASB (Upflow anaerobic sludge blanket)
- 2. Lagunaggio
- 3. Filtro anaerobico
- 4. Fitodepurazione

Soluzione 1. UASB (Upflow anaerobic sludge blanket): È un trattamento anaerobico molto efficiente anche nel caso di acque reflue ad alto carico di COD. L'acqua viene fatta filtrare dal basso verso l'alto (up-flow) in questo digestore dove è presente una "coperta" di microrganismi (in forma di fango granulare). All'attivazione dell'impianto, piccoli grani di fango cominciano a formarsi e sopra di essi vanno ad attaccarsi le prime comunità di microrganismi. Le condizioni di flusso creano un ambiente dove solo i batteri che riescono attaccarsi insieme sopravvivono e proliferano dando vita alla coperta. In 3 mesi essa raggiunge la sua maturazione e l'impianto si può considerare avviato.

Il processo di digestione anaerobica crea un biogas con alta concentrazione di metano, che può essere catturato e recuperato sotto forma di energia elettrica utile per coprire i bisogni interni. La tecnologia necessita di un continuo monitoraggio per avere la certezza che la coperta sia mantenuta a dovere e non dilavata (perdendo così il suo effetto). Tra i principali vantaggi e svantaggi si segnalano i seguenti:

- Vantaggi: ottime rese, creazione biogas, riutilizzo dell'acqua, costi contenuti, nessuna aerazione.
- Svantaggi: grandi costi di mantenimento e necessità di persone specializzate per il monitoraggio e riparazioni di routine. Impianto complicato da avviare.

Soluzione 2. Lagunaggio: Il lagunaggio è una tecnica depurativa paragonabile alla fitodepurazione, dove il refluo viene trattato attraverso processi di fermentazione e ossidazione, all'interno di stagni biologici (o lagune). Il processo può avvenire aerobicamente, anaerobicamente o in bacini facoltativi. Il processo aerobico necessita di stagni poco profondi e una grande area superficiale in modo che illuminazione e aerazione siano efficaci al meglio. Il processo anaerobico, al contrario, richiede una maggiore profondità per garantire le condizioni anaerobiche e lo sviluppo di organismi anaerobi. Il processo facoltativo ha invece profondità media per permettere la formazione di zone ossigenate e anossiche. Tra i principali vantaggi e svantaggi si segnalano i seguenti:

- Vantaggi: buone rese, riutilizzo dell'acqua, costi contenuti, buon inserimento paesaggistico.
- Svantaggi: grandi spazi, creazione di odori molesti, proliferazione di insetti.

Soluzione 3. Filtro anaerobico: Nel caso di studio è stato scelto di sperimentare anche un digestore anaerobico. Tale sistema permette un trattamento dell'acqua con l'assenza di acqua superficiale, nessun costo energetico, costi di mantenimento molto bassi e la possibilità di un riutilizzo energetico del biogas che si viene a formare. È quindi un impianto semplice, poco costoso e con prevedibili buone rese depurative. Tantissime sono le esperienze effettuate con successo in tutto il mondo. Qualche problematica può essere rilevata nella fase di avviamento dell'impianto, per

quanto riguarda le tempistiche e la necessità di un inoculo da digestore esterno attivo. Tra i principali vantaggi e svantaggi si segnalano i seguenti.

- Vantaggi: buone rese, assenza di acqua superficiale, lavoro in continuo, riutilizzo del biogas a scopi energetici, nessuna formazione di odori, costi contenuti.
- Svantaggi: difficile fase di avviamento, poca esperienza per quanto riguarda l'utilizzo di questo sistema nel campo delle acque grigie e necessità di pre-trattamenti.

Soluzione 4. Fitodepurazione: La fitodepurazione è una tecnica di depurazione, che come il lagunaggio, è di tipo estensivo. può essere a flusso orizzontale, verticale e adottare delle piante macrofite di vario tipo (radicate e non, ecc.) Nel caso di studio è stato scelto un impianto di fitodepurazione a flusso sommerso con movimento orizzontale. Con tale sistema l'impianto lavora di continuo, garantisce l'assenza di acqua superficiale (quindi la proliferazione di insetti e la formazione di cattivi odori) e non richiede costi energetici (sistemi di pompe) o l'impegno di uno degli utenti dell'impianto (carico manuale). Si tratta quindi di un impianto semplice, economico e con prevedibili buone rese depurative. Molte esperienze che questa tipologia depurativa sono state effettuate in diversi Paesi in Via di Sviluppo . Tra i principali vantaggi e svantaggi si segnalano i seguenti:

- Vantaggi: buone rese, riutilizzo dell'acqua, costi contenuti, semplicità di utilizzo, lavora di continuo, ottimo inserimento paesaggistico.
- Svantaggi: possibilità di ostruzione se non avviene un buon pre-trattamento, dimensioni elevate se implementato utenze.

In Tabella 2.5 vengono riportati i principali vantaggi e svantaggi dei possibili soluzioni studiate per il caso venezuelano.

Soluzioni	VANTAGGI	SVANTAGGI
<u>1. UASB</u>	-rapida degradazione della sostanza organica grazie alle elevate concentrazioni di biomassa e all'alta diversità microbica; -applicabilità a reflui ad alta concentrazione organica;	-lunghi periodi di avviamento; -costi di manutenzione; -personale specializzato;
<u>2. Lagunaggio</u>	-semplicità realizzativa e gestionale; -buoni rendimenti depurativi; -uso dell'energia solare; -limitata produzione di fanghi; -buon impatto visivo; -costi contenuti.	-rilevante impiego di spazio; -impermeabilizzazioni su grandi superfici; -bassa rimozione di nutrienti; -proliferazione di insetti; -bassa qualità dell'effluente, soprattutto in termini di solidi sospesi, a causa della presenza di alghe.
<u>3. Filtro Anaerobico</u>	-buone rese depurative; -costi contenuti; -recupero del biogas prodotto.	-fase di avviamento più lunga; -cattivi odori dovuti al biogas; -poche esperienze in letteratura.
<u>4. Fitodepurazione</u>	-buone rese depurative; -semplicità di utilizzo; -costi contenuti (no energia elettrica); -buon impatto visivo	-intasamento se non è efficace il pretrattamento a monte; -superfici di ingombro elevate se tratta gli scarichi di più utenze.

Tab. 2.5: Vantaggi e svantaggi dei trattamenti studiati

2.3.2.4 Confronto a coppie e normalizzazione del caso studio Venezuela

Nel file di calcolo sviluppato si introducono i valori del confronto a coppie per le matrici dei gruppi dei Criteri Generali (CG) e dei Criteri Specifici (C). Di seguito si riportano le matrici del confronto a coppie e le rispettive matrici normalizzate: tabella 2.6 per la matrice dei confronti a coppie per criteri generali (CG) e tabella 2.7 per la matrice dei confronti a coppie per criteri specifici (C).

	CGA	CGB	CGC	CGD	CGE	CGF	CGG	CGH	CGI	CGL	CGM	CGN
CGA	1	1	1	1	1	1	3	1	1/7	4	4	4
CGB	1	1	1	1	1	1	1	1/6	1	2	5	5
CGC	1	1	1	1	1	1	1	1	1/6	3	2	5
CGD	1	1	1	1	1	4	4	1/4	1	4	4	6
CGE	1	1	1	1	1	1	1	1/5	1/5	3	3	5
CGF	1	1	1	1/4	1	1	1	1/4	1	3	3	5
CGG	1/3	1	1	1/4	1	1	1	1/5	1/5	2	2	2
CGH	1	6	1	4	5	4	5	1	1	6	6	6
CGI	7	1	6	1	5	1	5	1	1	6	6	6
CGL	1/4	1/2	1/3	1/4	1/3	1/3	1/2	1/6	1/6	1	2	2
CGM	1/4	1/5	1/2	1/4	1/3	1/3	1/2	1/6	1/6	1/2	1	2
CGN	1/4	1/5	1/5	1/6	1/5	1/5	1/2	1/6	1/6	1/2	1/2	1

Tab. 2.6: Matrice dei confronti a coppie per criteri generali (CG)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	1	1	1	1	1	1	4	4	5	5	4	6
C2	1	1	1	1/6	1	1/6	1	1	1	3	2	3
C3	1	1	1	1/5	1	1	2	2	3	3	2	3
C4	1	6	5	1	4	1	5	6	4	5	4	4
C5	1	1	1	1/4	1	1	3	3	3	3	2	3
C6	1	6	1	1	1	1	1	1	1	5	6	6
C7	1/4	1	1/2	1/5	1/3	1	1	1	1	1	3	3
C8	1/4	1	1/2	1/6	1/3	1	1	1	1	2	3	3
C9	1/5	1	1/3	1/4	1/3	1	1	1	1	3	3	3
C10	1/5	1/3	1/3	1/5	1/3	1/5	1	1/2	1/3	1	3	3
C11	1/4	1/2	1/2	1/4	1/2	1/6	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1
C12	1/6	1/3	1/3	1/4	1/3	1/6	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1

Tab. 2.7: Matrice dei confronti a coppie per criteri specifici (C)

Le Matrici dei confronti a coppie normalizzata per i criteri generali (CG) e per criteri specifici (C), risultano (Tabella 2.8 e Tabella 2.9):

	CGA	CGB	CGC	CGD	CGE	CGF	CGG	CGH	CGI	CGL	CGM	CGN
CGA	0,133	0,150	0,150	0,212	0,132	0,160	0,334	0,481	0,063	0,337	0,316	0,260
CGB	0,133	0,150	0,150	0,212	0,132	0,160	0,111	0,080	0,438	0,169	0,395	0,325
CGC	0,133	0,150	0,150	0,212	0,132	0,160	0,111	0,481	0,073	0,253	0,158	0,325
CGD	0,133	0,150	0,150	0,212	0,132	0,638	0,445	0,120	0,438	0,337	0,316	0,390
CGE	0,133	0,150	0,150	0,212	0,132	0,160	0,111	0,096	0,088	0,253	0,237	0,325
CGF	0,133	0,150	0,150	0,053	0,132	0,160	0,111	0,120	0,438	0,253	0,237	0,325
CGG	0,044	0,150	0,150	0,053	0,132	0,160	0,111	0,096	0,088	0,169	0,158	0,130
CGH	0,133	0,901	0,150	0,847	0,661	0,638	0,556	0,481	0,438	0,506	0,474	0,390
CGI	0,933	0,150	0,900	0,212	0,661	0,160	0,556	0,481	0,438	0,506	0,474	0,390
CGL	0,033	0,075	0,050	0,053	0,044	0,053	0,056	0,080	0,073	0,084	0,158	0,130
CGM	0,033	0,030	0,075	0,053	0,044	0,053	0,056	0,080	0,073	0,042	0,079	0,130
CGN	0,033	0,030	0,030	0,035	0,026	0,032	0,056	0,080	0,073	0,042	0,039	0,065

Tab. 2.8: Matrice dei confronti a coppie normalizzata per CG

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	0,399	0,112	0,179	0,540	0,214	0,351	0,515	0,476	0,623	0,462	0,368	0,485
C2	0,399	0,112	0,179	0,090	0,214	0,058	0,129	0,119	0,125	0,277	0,184	0,243
C3	0,399	0,112	0,179	0,108	0,214	0,351	0,258	0,238	0,374	0,277	0,184	0,243
C4	0,399	0,673	0,897	0,540	0,857	0,351	0,644	0,715	0,499	0,462	0,368	0,323
C5	0,399	0,112	0,179	0,135	0,214	0,351	0,387	0,357	0,374	0,277	0,184	0,243
C6	0,399	0,673	0,179	0,540	0,214	0,351	0,129	0,119	0,125	0,462	0,552	0,485
C7	0,100	0,112	0,090	0,108	0,071	0,351	0,129	0,119	0,125	0,092	0,276	0,243
C8	0,100	0,112	0,090	0,090	0,071	0,351	0,129	0,119	0,125	0,185	0,276	0,243
C9	0,080	0,112	0,060	0,135	0,071	0,351	0,129	0,119	0,125	0,277	0,276	0,243
C10	0,080	0,037	0,060	0,108	0,071	0,070	0,129	0,060	0,042	0,092	0,276	0,243
C11	0,100	0,056	0,090	0,135	0,107	0,058	0,043	0,040	0,042	0,031	0,092	0,081
C12	0,066	0,037	0,060	0,135	0,071	0,058	0,043	0,040	0,042	0,031	0,092	0,081

Tab. 2.9: Matrice dei confronti a coppie normalizzata per i C

Successivamente risulta il vettore dei pesi relativi a ogni criterio, presentato nella tabella 2.10:

	GRUPPO	CRITERIO	CRITERIO	PESI RELATIVI
Caratteristiche Tecniche	CGA	CG1	Utilizzo risorse locali e riproducibilità	0,227
		CG2	Utilizzo di tecnologie a piccola scala	0,227
Impatto ambientale	CGB	CG3	Emissioni in atmosfera	0,205
		CG4	Inquinamento acque e scarichi idrici	0,205
		CG5	Produzione di rifiuti	0,205
		CG6	Rumore	0,205
		CG7	Occupazione di suolo	0,205
		CG8	Impatto visivo	0,205
Consumo risorse	CGC	CG9	Consumo combustibile o energie non rinnovabili	0,195
		CG10	Consumo di acqua	0,195
		CG11	Consumo materie prime non rinnovabili	0,195
Gestione	CGD	CG12	Facilità gestionale	0,289
Partecipazione delle comunità	CGE	CG13	Partecipazione della comunità	0,171
		CG14	Accesso alla tecnologia per tutti i membri della comunità	0,171
Condizioni di vita	CGF	CG15	Condizioni di vita di tutta la comunità	0,189
		CG16	Rispetto della cultura locale	0,189
Uguaglianza e migrazione	CGG	CG17	superamento conflitti o discriminazione tra diversi gruppi della comunità (gruppo di donne)	0,120
		CG18	Utilizzo, accentazione e radicamento della tecnologia da parte di tutta la comunità	0,120
		CG19	Migrazione per mancanza accesso risorse e povertà	0,120
Salute	CGH	CG20	Salute della comunità (es: diminuzione malattie, condizioni igieniche)	0,515
Accesso alla tecnologia	CGI	CG21	Fruibilità e accesso per basso costo	0,488
		CG22	Incentivo al mercato locale	0,488
Reddito e occupazione	CGL	CG23	Differenze di reddito	0,074
		CG24	Occupazione di personale locale	0,074
Incidenze sugli indicatori dell'HDI	CGM	CG25	Aumento aspettative di vita	0,062
E sugli indicatori MDG	CGN	CG26	Aumento dell'educazione e dell'alfabetizzazione	0,045
		CG27	Tenore di vita (aumento reddito famiglia)	0,045
Aspetti tecnici e ambientali	C1	C1	Compatibilità con caratteristiche ambientali/geologiche/metereologiche	0,394
	C2	C2	Flessibilità di utilizzo della tecnologia	0,177
	C3	C3	Capacità di essere replicabili	0,245
	C4	C4	Costo della tecnologia e manutenzione	0,561
	C5	C5	Superficie disponibile per la costruzione	0,268
Qualità	C6	C6	Rispetto standard normativo per scarico in corpo di acqua superficiale e riutilizzo	0,352
	C7	C7	Mantenimento della qualità dell'acqua nel tempo	0,151
	C8	C8	Mantenimento della qualità dell'acqua nel punto di stoccaggio e distribuzione per riutilizzo	0,157
	C9	C9	Diminuzione possibilità di contaminazione successiva	0,165
Quantità e Riutilizzo	C10	C10	Quantità disponibili	0,106
	C11	C11	Vicinanza al luogo di trattamento	0,073
	C12	C12	Costanza nella possibilità di riutilizzo	0,063

Tab. 2.10: Vettore dei pesi relativi per ogni criterio

La figura 2.15 mostra il grafico con i pesi relativi per criteri, dove i criteri che assumono maggiore importanza sono: **C4** (Costo della tecnologia e manutenzione), seguito del criterio **CGH** (salute della comunità: diminuzione malattie, condizioni igieniche), e il criterio **CGI** (accesso alla tecnologia).

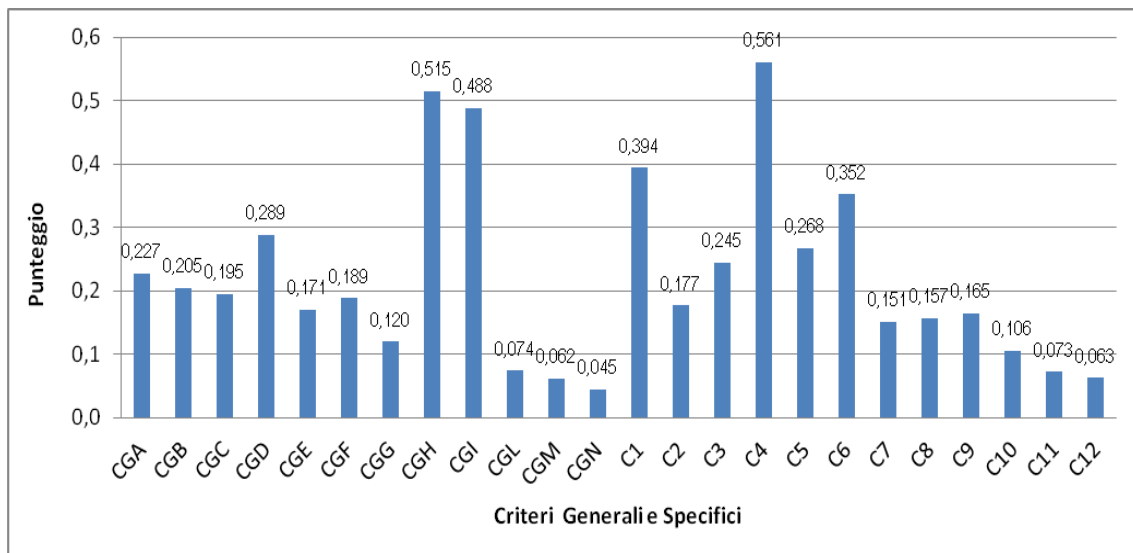


Fig. 2.15: Grafico con i pesi relativi per criterio

La procedura di analisi continua calcolando l'Indice di consistenza per le due matrici del confronto a coppie. Dove RI chiamato "random index", per il caso studio del Venezuela sarà di 1.48.

Risulta che la matrice dei Criteri Generali (CG) ha un indice di consistenza (CI) uguale al 10.7%, e un rapporto di consistenza (CR) uguale a 0,072; per la matrice dei Criteri Specifici (C) è stato calcolato un CI uguale a 11,2% e un CR uguale a 0,075. Il criterio di consistenza risulta rispettato, poiché per matrici con un numero di elementi alto ($n \geq 9$) è consentito un C.I maggiore di 10%. Inoltre, poiché il rapporto di consistenza è inferiore a 0,1 sia per la matrice CG che C, di conseguenza si può concludere che le matrici sono consistenti.

L'ultima fase del analisi è quella del confronto delle alternative, dove è stato assegnato ad ogni criterio un valore compreso tra -2 e 2 che indica la preferibilità di una alternativa rispetto ad ogni criterio. Di seguito si riportano i punteggi assegnati per la valutazione, (Tabella 2.11):

CRITERIO	PESI RELATIVI	PUNTEGGIO SOLUZIONI				PUNTEGGIO PESATO			
		1. UASB	2. Lagunaggio	3. Filtro Anaerobico	4. Fitodepurazione	1. UASB	2. Lagunaggio	3. Filtro Anaerobico	4. Fitodepurazione
CG1	0,227	2	2	2	2	0,45	0,45	0,45	0,45
CG2	0,227	2	1	2	2	0,45	0,23	0,45	0,45
CG3	0,205	1	-1	1	2	0,20	-0,20	0,20	0,41
CG4	0,205	2	2	2	2	0,41	0,41	0,41	0,41
CG5	0,205	-1	-1	-1	-1	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20
CG6	0,205	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
CG7	0,205	2	-2	2	2	0,41	-0,41	0,41	0,41
CG8	0,205	1	-1	1	1	0,20	-0,20	0,20	0,20
CG9	0,195	-1	-1	2	2	-0,19	-0,19	0,39	0,39
CG10	0,195	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
CG11	0,195	1	1	2	2	0,19	0,19	0,39	0,39
CG12	0,289	-1	-1	1	1	-0,29	-0,29	0,29	0,29
CG13	0,171	1	1	1	1	0,17	0,17	0,17	0,17
CG14	0,171	2	2	-1	-1	0,34	0,34	-0,17	-0,17
CG15	0,189	2	2	2	2	0,38	0,38	0,38	0,38
CG16	0,189	2	2	2	2	0,38	0,38	0,38	0,38
CG17	0,120	1	1	1	1	0,12	0,12	0,12	0,12
CG18	0,120	2	2	2	2	0,24	0,24	0,24	0,24
CG19	0,120	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
CG20	0,515	2	2	2	2	1,03	1,03	1,03	1,03
CG21	0,488	1	-2	1	1	0,49	-0,98	0,49	0,49
CG22	0,488	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
CG23	0,074	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
CG24	0,074	2	2	-2	-2	0,15	0,15	-0,15	-0,15
CG25	0,062	2	2	2	2	0,12	0,12	0,12	0,12
CG26	0,045	2	2	2	2	0,09	0,09	0,09	0,09
CG27	0,045	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
C1	0,394	2	2	2	2	0,79	0,79	0,79	0,79
C2	0,177	2	2	2	2	0,35	0,35	0,35	0,35
C3	0,245	1	1	1	1	0,24	0,24	0,24	0,24
C4	0,561	1	-1	2	2	0,56	-0,56	1,12	1,12
C5	0,268	1	-1	1	1	0,27	-0,27	0,27	0,27
C6	0,352	1	1	1	1	0,35	0,35	0,35	0,35
C7	0,151	1	1	1	1	0,15	0,15	0,15	0,15
C8	0,157	1	1	1	1	0,16	0,16	0,16	0,16
C9	0,165	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
C10	0,106	2	2	2	2	0,21	0,21	0,21	0,21
C11	0,073	2	2	2	2	0,15	0,15	0,15	0,15
C12	0,063	1	1	1	1	0,06	0,06	0,06	0,06
					Punteggio finale	8,45	3,46	9,56	9,76

Tab. 2.11: Punteggi dati alle alternative, punteggi pesati e punteggio finale delle alternative

2.3.2.5 Tecnologie di trattamento più appropriate al caso di studio Venezuela

La figura 2.16 mostra i risultati della valutazione delle soluzioni condotta tramite l'Analisi Multi Criteriata AMC, dove i punteggi pesati sono stati ottenuti moltiplicando i pesi relativi di ogni criterio per il punteggio dato allo stesso criterio.

Facendo la somma totale dai punteggi pesati si ottiene il punteggio finale di ogni alternativa; risultando con il punteggio maggiore la soluzione 4 della fitodepurazione, seguita della filtrazione anaerobica soluzione 3 e il sistema UASB soluzione 1.

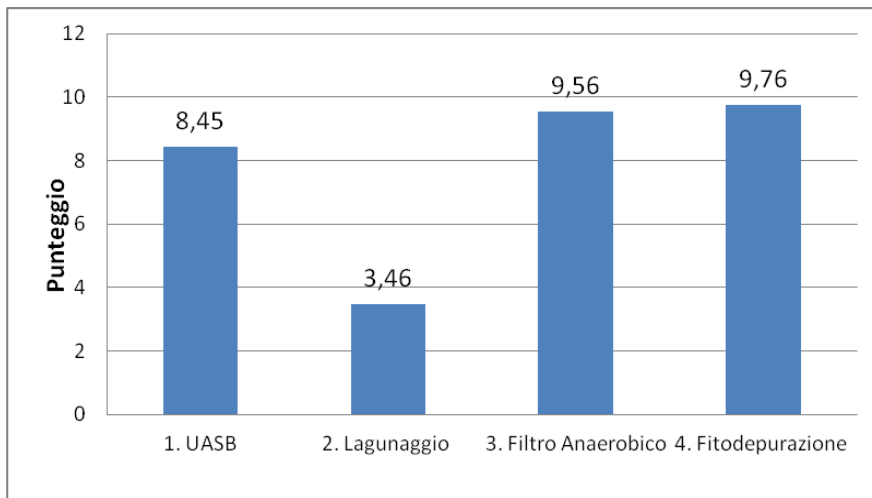
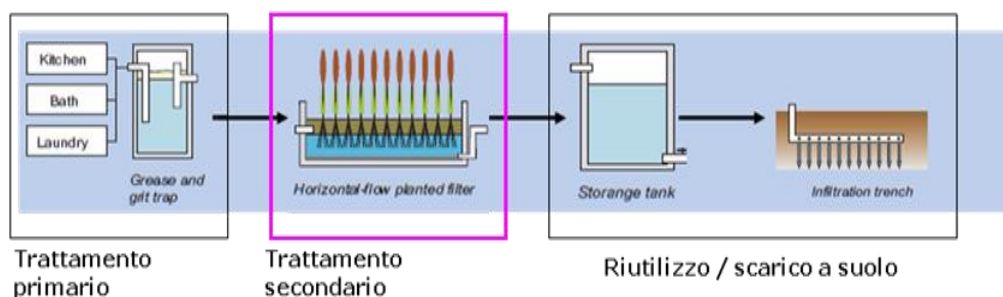


Fig. 2.16: Risultati della valutazione delle soluzioni condotta tramite AMC

Gli schemi impiantistici pensati per procedere con la fase sperimentale in laboratorio in Italia saranno: la fitodepurazione e il filtro anaerobico. Per la fase sperimentale in Venezuela gli schemi impiantistici presenteranno come trattamento primario una trappola di oli e grassi; come trattamento secondario la fitodepurazione e il filtro anaerobico; come sistema di smaltimento inizialmente si costruirà un sistema di infiltrazione nel terreno. Gli schemi impiantistici si possono vedere nella figura 2.17:

Schema impiantistico della fitodepurazione



Schema impiantistico del filtro anaerobico a flusso ascendente

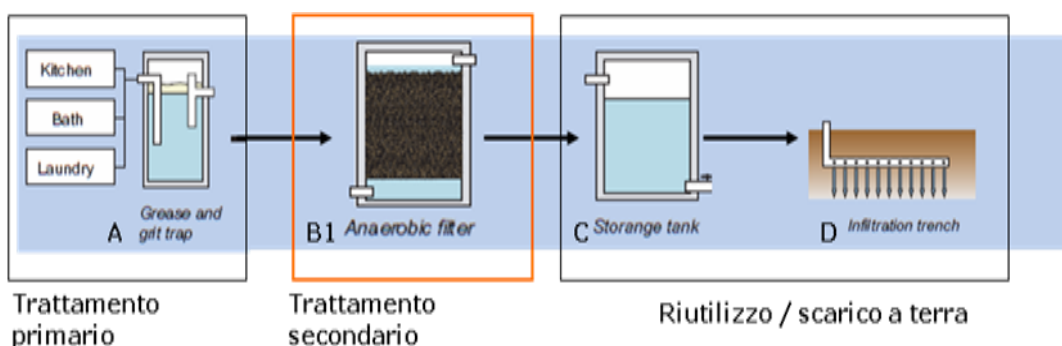


Fig. 2.17: Schema della fitodepurazione e del filtro anaerobico. (Morel e Diener 2006)

2.4 CONCLUSIONI

- ✓ È necessario proporre alternative tecnologiche a basso costo, che risolvano o minimizzino i problemi, per ridurre i rischi di contaminazione: utilizzando per esempio filtri, ove possibile, portando ad ebollizione l'acqua potabile, evitando punti di incontro tra le tubazioni di acqua potabile, gli scorrimenti superficiali di acque grigie e la limitazione delle acque grigie che vanno a finire sulle strade, attraverso la realizzazione di sistemi di trattamento che non richiedano la costruzione onerosa e non sostenibile.
- ✓ La scelta di agire principalmente sulla problematica delle acque grigie è stata valutata consultando la comunità locale. È stato chiesto quale problema risultasse più sentita e da quest'indagine è iniziata la ricerca di una soluzione e l'implementazione di questa a livello pilota in una abitazione del quartiere.
- ✓ La sperimentazione della metodologia AMC ha messo in evidenza alcuni aspetti come: la metodologia offre un approccio multidisciplinare nella valutazione di tecnologie appropriate; permette di valutare un progetto secondo un approccio integrato.
- ✓ La soluzione che ha fornito il punteggio maggiore attraverso l'analisi AMC è la fitodepurazione, seguita dal filtro anaerobico e dal sistema UASB.

SVILUPPO DEL LAVORO SPERIMENTALE IN ITALIA

CAPITOLO III. PROGETTAZIONE, COSTRUZIONE E SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO DI UN IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE E FILTRAZIONE ANAEROBICA

3.1 INTRODUZIONE

La presente ricerca ha sviluppato una fase di lavoro sperimentale in Italia, focalizzata sulla progettazione, costruzione e sperimentazione in laboratorio di un impianto di fitodepurazione e filtrazione anaerobica per il trattamento delle acque grigie. Gli impianti a livello di laboratorio sono stati costruiti presso il Dipartimento di idraulica dell'Università degli studi di Pavia, realizzando diverse analisi di tipo fisico-chimico e microbiologico per individuare le principali caratteristiche di funzionamento, analizzare le diverse tipologie vegetali, capire la funzionalità e la fruibilità del sistema per il contesto venezuelano. Attraverso queste analisi si è giunti alla conclusione che i sistemi individuati sono appropriati al contesto d'intervento e anche sostenibili, in generale, in paesi in via di sviluppo PVS.

È stata effettuata una prima fase sperimentale tra il dicembre 2011 e l'aprile 2012, ed una seconda fase sperimentale tra l'agosto e l'ottobre 2012 con il coinvolgimento e la collaborazione di due tesisti della laurea specialistica in Ingegneria Ambientale dell'Università degli Studi di Pavia.

3.2 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI FITODEPURAZIONE A FLUSSO ORIZZONTALE

La letteratura fornisce molteplici possibilità sul dimensionamento di impianti di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale. Questa mancanza di una modellizzazione matematica unica ed esauriente, è dovuta fondamentalmente dal gran numero di processi che avvengono in questi impianti, molti dei quali tuttora dibattuti a livello scientifico (APAT, 2005). I molteplici modelli matematici sviluppati negli anni, sono basati sulle cinetiche di rimozione dei principali inquinanti e sull'utilizzo di coefficienti semiempirici ricavati dal monitoraggio di un ampio numero di impianti esistenti. I sistemi di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale vengono sostanzialmente approssimati come sistemi "plug-flow" a biomassa adesa. Questa approssimazione a una cinetica di primo ordine si può ritenere lecita considerandola come un approccio conservativo (APAT, 2005). I principali modelli matematici sviluppati sono:

- Kadlec & Knight, (1996): esso assume un decadimento del primo ordine di tutti gli inquinanti in ingresso (BOD, TP, TN, SST e Coliformi Fecali) e un modello "plug-flow". Di seguito si riporta la formula generale del modello:

$$\ln\left(\frac{C_e - C^*}{C_i - C^*}\right) = \frac{-K}{q}$$

dove:

C_i = concentrazione dell'inquinante considerato in uscita (mg/L);

C_e = concentrazione dell'inquinante considerato in ingresso (mg/L)

C^* = concentrazione di fondo dell'inquinante (mg/L)

K = costante areale del primo ordine (pari a $K_{20} \cdot \Theta^{T-20}$) (m/anno)
 q = coefficiente di carico idraulico (m/anno)

Il modello risulta quasi del tutto indipendente dalla temperatura e questa semplificazione non è sempre corretta considerando i diversi processi biologici in atto. Il modello è comunque abbastanza funzionale visto che la temperatura da considerare è quella del refluo che è relativamente costante se si considera la protezione data dalla tubazione e dal sistema stesso.

- EPA (1993-1999) per la rimozione del BOD₅:

Esso risulta il metodo più utilizzata e quello usato nel caso di studio. Questo metodo di dimensionamento è suggerito dall'Environmental Protection Agency, è si basa su una cinetica di primo ordine e l'assunzione di una condizione di plug-flow nella vasca, dove gli inquinanti vengono rimossi per processi biologici. Nel dimensionamento vanno individuate:

- tipo di pianta e materiale filtrante nel letto (porosità, conducibilità idraulica, ecc);
- un altezza d'acqua nel letto h (che sia maggiore o uguale della profondità della pianta scelta), la profondità delle radici dipende dalla tipologia di pianta e generalmente variano in un range da 30 a 70 cm. La maggior parte delle principali normative europee in merito propongono un'altezza di 0.6 m (UK, Danimarca, Francia), Germania e Austria invece 0.5 m (ATV e Oenorm).

Dopo queste scelte preliminari si passa al calcolo con le equazioni di seguito descritte. La formula che descrive la cinetica plug-flow di primo ordine è:

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp(-K_T \cdot t)$$

dove:

- C_i = concentrazione di BOD₅ in ingresso (mg/L);
- C_e = concentrazione di BOD₅ in uscita (mg/L), questo valore non deve essere impostato inferiore a 5 mg/L perché questo sistema comporta un apporto di BOD₅ dovuto alla decomposizione naturale del materiale organico presente nel sistema;
- K_T = costante dipendente dalla temperatura e dalla densità delle piante (d^{-1});
- t = tempo di ritenzione (d).

Il tempo di ritenzione effettivo (che considera il tempo di ritenzione del mezzo filtrante) (t), viene ricavato dalla seguente formula:

$$t = \frac{n \cdot L \cdot W \cdot d}{Q}$$

dove:

- n = porosità del letto;
- W = larghezza del letto (m);
- d = profondità del letto (m);
- L = lunghezza del letto (m);
- Q = portata media che attraversa il sistema (m^3/d).

Unendo le formule sopraindicate si giunge al valore della superficie richiesta:

$$A = L \cdot W = \frac{Q \cdot (\ln C_i - \ln C_e)}{n \cdot K_T \cdot 0,95 \cdot d}$$

Il coefficiente 0.95 è un fattore di sicurezza richiesto.

La costante cinetica K_T (in funzione della temperatura, viene calcolata tramite la formula:

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

dove:

K_{20} = è la costante cinetica della temperatura a 20°C (d⁻¹);

K_T = costante dipendente dalla temperatura (d⁻¹);

θ = costante.

In cui l'EPA suggerisce i valori riportati di seguito:

K_{20} = 1.104 (d⁻¹)

θ = 1.06

Dalla misura della superficie e determinata l'altezza del filtro (di solito da 0.4-0.8 m), si trova facilmente il volume dell'impianto. Si effettua quindi una verifica del dimensionamento, dopo aver scelto il tipo di macrofita:

Volume del sistema:

$$V = Q * t$$

dove:

Q = portata di dimensionamento (m³/d)

t = tempo di ritenzione calcolato (d)

Area superficiale:

$$A = V / (h * n)$$

dove:

A = area superficiale (m²)

h = altezza dell'impianto (m)

n = porosità del sistema (%)

Calcolo delle dimensioni principali imponendo un rapporto lunghezza : larghezza da 0.4 a 1

Verifica del funzionamento idraulico tramite la formula di Darcy

$$Q_{\text{darcy}} = K_s * A_p * S$$

dove:

Q_{darcy} = portata media che attraversa il sistema (m³/d)

A_p = area totale della sezione perpendicolare al flusso (m²)

S = gradiente idraulico (m/m)

K_s = conducività idraulica del sistema filtrante perpendicolarmente al flusso (m³/m²/d)

Se la Q_{darcy} risulta essere inferiore alla Q di dimensionamento, allora il sistema risulta essere verificato. Altrimenti è necessario controllare i valori della concentrazione di BOD utilizzati nella prima formula. E' bene notare che l'EPA (1999) suggerisce comunque un approccio conservativo e un carico organico per unità di superficie non superiore a 6-10 gBOD/ m² d, in modo da ottenere sempre delle concentrazioni in uscita di matrice organica, inferiore a 30 mg/L (rientrando così nei limiti legislativi più diffusi).

- EPA (1993-1999) per la rimozione dell'azoto

Il metodo EPA, propone il calcolo dell'area necessaria per la rimozione dei principali nutrienti considerandoli separatamente. L'area ottenuta considerando il parametro dell'azoto, sarà da aggiungere a quella necessaria per la rimozione del BOD. Il calcolo si basa sulla quantità di ossigeno disponibile e quello richiesto nel processo di nitrificazione. In base alla tipologia di pianta, l'ossigeno disponibile viene calcolato a seconda della lunghezza radicale e dell'ossigeno che la pianta macrofita fornisce. La tabella 3.1 riprende i dati forniti dall'EPA mostra alcuni esempi.

Tipologia di piante	Profondità delle radici (m)	Ossigeno disponibile (g/m ³ d)
Scirpus	0,76	7,5
Phragmites	0,6	8
Typha	0,3	7
Media utilizzata se non ci sono dati		6,5

Tab. 3.1: Valori di ossigeno prodotto e profondità media delle radici delle piante per diverse tipologie di macrofite (EPA, 1999)

La quantità di ossigeno disponibile si calcola come segue:

$$O_{2 \text{ disp}} = \text{"root depth"} * \text{"available oxygen"}$$

dove:

"root depth"= profondità delle radici (m);

"available oxygen"= ossigeno prodotto dalle diverse piante (g/m³ d).

Prendendo i valori in questa tabella o, nel caso di piante diverse, da letteratura specifica. L'ossigeno richiesto viene calcolato come:

$$O_{2 \text{ req}} = (NH_{4in}^+ - NH_{4out}^+) * Q * 5$$

dove:

NH_{4in}⁺= azoto ammoniacale in ingresso (mg/L)

NH_{4out}⁺= azoto ammoniacale in uscita (mg/L)

Q= portata (m³/d)

5= rappresenta i mg di O₂ necessari per ossidare 1 mg di NH₄⁺

L'area necessaria per la nitrificazione sarà data semplicemente da:

$$A_{\text{nitr}} = O_{2 \text{ req}} / O_{2 \text{ disp}}$$

Questo valore sarà da aggiungere all'area richiesta per la rimozione del BOD, come descritto in precedenza.

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{nitr}} + A$$

- **Tipologie di piante adottate**

Le piante da utilizzare nei sistemi naturali costruiti sono le piante tipiche degli ambienti umidi, che si suddividono in due distinti gruppi: macrofite e idrofite. Le prime (come già descritto), sono piante radicate emergenti, dove le radici sono in suoli parzialmente o totalmente saturi d'acqua, mentre foglie e fiori emergono. Le seconde hanno invece un corpo vegetativo completamente sommerso o galleggiante sulla superficie dell'acqua. Nel caso di impianti a flusso sommerso (come quello progettando nel caso di studio), le piante utilizzate sono macrofite, poi in base al livello dell'acqua raggiunto nel letto, si possono utilizzare un numero maggiore di essenze vegetali appartenenti sia alla famiglia delle elofite sia a quella delle idrofite

(così ad avere un impianto ibrido tra flusso sommerso e lagunaggio) (APAT, 2005). Di seguito si riportano nella tabella 3.2 le piante più comunemente utilizzate in impianti di fitodepurazione (suddivise in macrofite ed elofite).

MACROFITE		ELOFITE	
Phragmites australis	Cannuccia di palude	Myriophyllum spicatum	Millefoglie d'acqua
Typha	Mazzasorda	Potamogeton natans	Lingua d'acqua
Juncus	Giunco	Nymphaea alba	Ninfa comune
Caltha palustris	Farferugine	Nymphaea rustica	Ninfa rosa
Carex fusca	Carice nera	Callitriche stagnalis	Stella d'acqua
Carex hirta	Carice eretta	Lemna spp	Lenticchia d'acqua
Iris	Iris	Hottonia palustris	Violetta d'acqua
Euphorbia cannabinum	Cannabis d'acqua		
Scirpus	Giunco		
Cyperus	Papiro		
Muscicivora violacea	Orchidea		

Tab. 3.2: Piante più comunemente utilizzate negli impianti di fitodepurazione

Per quanto riguarda i criteri di scelta delle piante sono stati considerati determinati aspetti:

- sono state scelte piante che per distribuzioni geografica fossero reperibili in Venezuela come in Italia;
- la reperibilità in vivaio;
- il potenziale di adattabilità delle piante ai vari fattori climatici, ambientali, ecc;
- caratteristiche climatiche dell'area di intervento;
- reperibilità di studi bibliografici;

Definiti questi criteri, la scelta delle piante è cominciata con una ricerca bibliografica sulle piante più comunemente utilizzate negli impianti di fitodepurazione a flusso sommerso. Trovato quindi un elenco delle piante più comuni, sono state selezionate quella a maggior resistenza e che fossero reperibili sia in Italia che in Venezuela. Per quanto riguarda le caratteristiche climatiche, sono stati presi provvedimenti in laboratorio per quanto riguarda illuminazione e temperatura. Definiti questi criteri le essenze vegetali scelte sono:

PHRAGMITES AUSTRALIS: La *Phragmites australis* (Cannuccia di palude) è una pianta erbacea perenne (cioè che vive più di due anni), (figura 3.1), rizomatosa che può raggiungere i 4 metri di altezza. Fa parte della famiglia delle Poaceae ed è una specie che sembra essere nativa dell'Eurasia ma è diffusa in ogni parte del mondo. Si sviluppa in densi canneti in prossimità di paludi e aree umide, ed è caratterizzata da una pannocchia di colore bruno all'apice del fusto. È una pianta da esterno che richiede una buona illuminazione.

A livello mondiale è la più utilizzata nei sistemi di fitodepurazione a flusso sommerso, molto probabilmente in quanto essa è la tipologia di piante palustre più comune nel globo (Brix et al. 2001). La radice raggiunge profondità fino a 70 cm e presenta un alto tasso di trasferimento di ossigeno radicale. Armstrong et al. (1990) riporta un valore di 12 gO₂/m²/d. Sono molteplici i casi di studio dove è stata utilizzata questa tipologia di pianta per la depurazione naturale in varie parti del mondo.



Fig. 3.1: Phragmites Australis

CYPERUS PAPIRUS: Il Cyperus Papyrus è una pianta palustre perenne, con fusto alto da 2 a 5 metri di forma triangolare. Fa parte della famiglia delle Cyperaceae ed è una specie nativa dell'Africa tropicale, soprattutto nella zona del Nilo (molto utilizzato dagli antichi egizi come supporto per la scrittura, come combustibile e come fibra tessile). Oggi questa pianta è diffusa in gran parte del pianeta e viene coltivata soprattutto a scopo ornamentale.

Per quanto riguarda la fitodepurazione tale pianta ha un ottimo utilizzo poiché ha il potenziale di essere dotata di lunghe radici (fino a 80 cm), molto sottili e diffuse. Questa struttura radicale fornisce un'ampia area per lo sviluppo di colonie microbologiche utili per la depurazione dell'acqua reflua in entrata a un sistema di trattamento naturale. Inoltre essa permette un maggior tempo di residenza dell'acqua, filtra maggiormente le particelle sospese, crea un'ampia area di ossigenazione della rizosfera e permette una assimilazione più efficace da parte della pianta delle componenti nutrizionali.

Kyambadde et al. nel 2003 hanno effettuato una sperimentazione di questa pianta in comparazione con una specie vegetale diversa, il *Miscanthidium violaceum*, che è caratterizzata da un apparato radicale più spesso e compatto. Lo studio è stato effettuato in Uganda a Kampala, una regione caratterizzata da un clima tropicale e ha mostrato ottime efficienze di rimozione di diversi parametri. Si hanno avuto rese tra l'85 e il 92% sul BOD, 75% sull'ammoniaca, 83% sul fosforo e 88% sull'azoto totale.

Il tasso di ossigenazione delle radici, non era disponibile per bibliografia ed è stato sottostimato a $6.3 \text{ g O}_2 / \text{m}^2/\text{d}$, supponendo che esso fosse poco più della metà del massimo tasso di ossigenazione misurato in ambiente ideale per la *Phragmites Australis*. Date le sue alte rese e la sua forte resistenza, il Papiro è molto consigliato come pianta per il trattamento di acque reflue, sebbene il suo campo applicativo è maggiormente consigliato nei paesi caldi, dove questa pianta trova il suo ambiente più naturale, (Figura 3.2).



Fig. 3.2: Cyperus Papyrus

CAREX OSHIMENSIS: Il Carex Oshimensin (figura 3.3) è una pianta sempreverde perenne, dalla foglia lunga variegata (di colore verde-giallo), rizomata con un'altezza massima di 50-60 cm. È una pianta presente sia nel sottobosco che sulle sponde dei laghi ed è dotata di una grande resistenza agli sbalzi climatici. Fa parte della famiglia delle Carex, la famiglia più numerosa per quanto riguarda il numero di specie nel mondo. È nativa del Giappone, più precisamente dell'isola di Honshu, dove è stata selezionata centinaia di anni fa dai giardinieri giapponesi, per il suo potenziale ornamentale. Oggi la pianta è diffusa in tutto il mondo, anche con funzioni di ornamento.

Per quanto riguarda la fitodepurazione, questa tipologia vegetale non è mai stata utilizzata a differenza di altre specie di Carex che sono molto diffuse negli impianti naturali come il Carex Fusca e Hirta. La Oshimensin ha delle radici non molto lunghe (30 cm) e in un impianto di fitodepurazione a flusso orizzontale (che raggiunge anche la profondità di 1 m), essa non risulta molto adatta.

Risulta però una buona scelta come pianta di abbellimento (per la sua piacevolezza) dell'impianto sui lati di entrata delle acque reflue, dove lo strato di terreno filtrante è meno profondo. L'utilizzo di macrofite palustri dotate di lunghe radici, in combinazione con piante più ornamentali al bordo interno del sistema è consigliato da molti autori (Masotti-Verlicchi, 2005).

La famiglia dei Carex è poi caratterizzata da un forte potenziale di ossigenazione del terreno che la rendono una buona scelta come piante da trattamento. Sono stati ottenuti valori di ossigenazione fino al 30% in più rispetto a un terreno non vegetato, utilizzando (nel caso di studio) la specie di Carex rostrata (Mainiero e Kazda, 2004).

Per questa sua particolare bellezza e resistenza a sbalzi climatici e ad acque fortemente inquinate, questa tipologia di pianta è stata scelta per essere testata e possibilmente utilizzata per le sue rese depurative ed estetiche in un impianto naturale.



Fig. 3.3: Carex Oshimensis

3.3 DIMENSIONAMENTO DEL FILTRO ANAEROBICO

Il tempo di ritenzione è il principale parametro di dimensionamento di un filtro anaerobico (Sasse, 1998; EPA, 2004). I valori sono consigliati dalla lunga esperienza di diversi autori nell'utilizzo di questa tipologia depurativa in diverse parti del mondo e variano da un tempo di 0.5 d a 2 d, con un carico idraulico massimo di 2.8 m/d. In particolare questi valori sono stati evidenziati da Young nel 1991 a seguito di uno studio su 30 diversi impianti sparsi tra Europa e Nord America. Lo stesso Young ha concluso che il tempo di ritenzione è il parametro fondamentale da tenere in considerazione.

Una perdita di carico idraulico di 30-50 cm va aggiunta a monte del reattore a causa del suo comportamento di filtrazione, mentre il carico organico limite non deve superare i 5 kg COD/m³x d (Sasse, 1998). La figura 3.4 mostra la relazione tra la rimozione di COD con il tempo di permanenza all'interno del reattore. In particolare il caso è relativo a una temperatura ambientale di 25°C, un'entrata di 1500 mg/L di COD e un permeabilità del materiale filtrante del 35% (Sasse, 1998). Si nota che dalle 40 ore in poi il rendimento cresce molto più lentamente (massimo del 10% in più) e ciò sottolinea il motivo per cui vengono consigliati tempi di ritenzione tra 0.5 e 1.5 d.

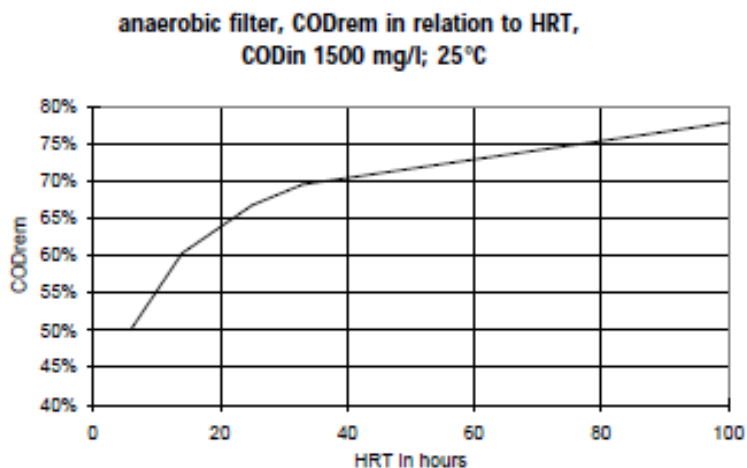


Fig. 3.4: Grafico che lega i rendimenti sull'abbattimento del COD in relazione al tempo di ritenzione idraulica HRT (Sasse, 1998)

La figura 3.5 mostra invece la relazione tra il fattore di rimozione del COD con la superficie specifica del filtro. Si nota in questo caso che il fattore massimo raggiungibile è leggermente superiore a 1.05 a partire da una superficie specifica del filtro di 200 m²/m³ (Sasse, 1998).

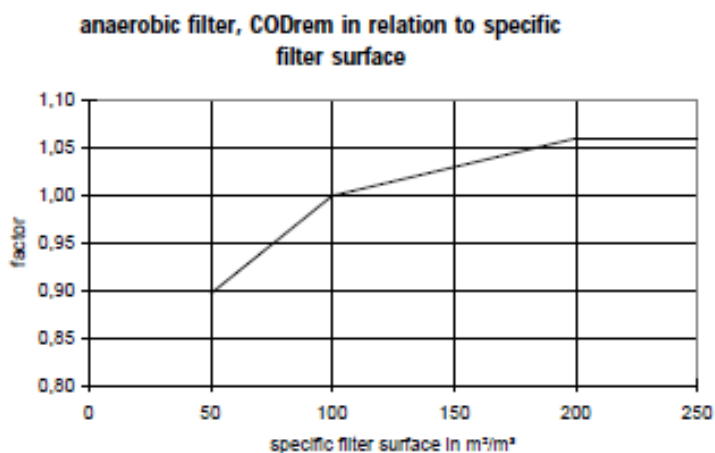


Fig. 3.5: Grafico che lega la rimozione del COD con la superficie specifica del filtro anaerobico (Sasse, 1998)

Un altro fattore da tenere in considerazione per quanto riguarda la fase di dimensionamento dell'impianto, è la produzione di biogas che si viene a creare a seguito della digestione anaerobica attuata dai batteri presenti all'interno del reattore. Come già detto, tale gas può essere collettato e utilizzato a scopi energetici domestici, contribuendo a un risparmio economico. Questo sistema è facilmente implementabile a livello di piccolo impianto domestico, come evidenziato in diversi casi di studio tra cui Rodriguez, 2006; Al-Beirut, 2005 e Burnat et al, 2005, dove sono stati utilizzati dei semplici barili standard (da 200 L), posti da soli, in serie o in parallelo.

A questo proposito Knowles nel 2006, suggerisce il dimensionamento di questa tipologia depurativa per le fattorie isolate australiane, allo scopo di massimizzare la produzione di biogas per l'utilizzo domestico. Nel suo lavoro consiglia prima di tutto di collocare l'impianto all'aperto dato che si parla di gas infiammabili, quindi di utilizzare barili di materiale plastico con un sistema di riscaldamento per favorire lo sviluppo della flora batterica anche nelle stagioni fredde. Come materiale di riempimento viene sempre consigliata una granulometria non troppo fine per evitare problemi di ostruzione (anche evidenziato da Sasse, 1998; Morel e Diener, 2006 e Ahmed-Rahman, 2003).

Per quanto riguarda la fase di attivazione del sistema, viene consigliato di immettere un inoculo di fango anaerobico sul primo strato di materiale filtrante per favorire la crescita della flora batterica. Quindi alimentare l'impianto prima con un quarto della portata giornaliera e man mano arrivare a regime, per una durata di tre mesi. È stato quindi notato che il sistema comincia a lavorare al massimo della sua performance generalmente dopo 6-9 mesi dall'attivazione. Risulta dunque un sistema dall'attivazione non immediata (Sasse, 1998).

Come per le fosse settiche o le fosse Imhoff, la pulizia dal fango deve essere effettuata regolarmente e se è possibile effettuarla dopo un lavaggio e un

controlavaggio del filtro. Le formula standard usate per il dimensionamento e la verifica sono riportate da Sasse, 1998 nella parte relativa agli esempi di studio.

$$V = \text{HRT} * \text{IN}_{\text{flow}}$$

dove:

HRT = tempo di permanenza (d)

IN_{flow} = portata in entrata (m^3/d)

La portata in ingresso è un dato specifico del caso analizzato, mentre il tempo di permanenza viene scelto seguendo i consigli dei diversi esperti del campo (come descritto precedentemente). Per la verifica viene utilizzata la formula:

$$C_{\text{max}} = \text{COD}_{\text{in}} * \text{IN}_{\text{flow}} / (V * n)$$

dove:

C_{max} = carico organico (COD) massimo ($\text{kg} / \text{m}^3 * \text{d}$)

COD_{in} = concentrazione di COD in entrata al sistema (kg / m^3)

IN_{flow} = portata in ingresso al sistema (m^3/d)

V = volume (m^3)

n = porosità specifica (m^3/m^3)

Tale carico organico deve essere inferiore a $5 \text{ kg} / \text{m}^3 * \text{d}$ (Sasse, 1998). La figura 3.6 mostra le dimensioni di un digestore anaerobico con pre-trattamento in vasca settica, modellato con un programma computazionale (Sasse, 1998).

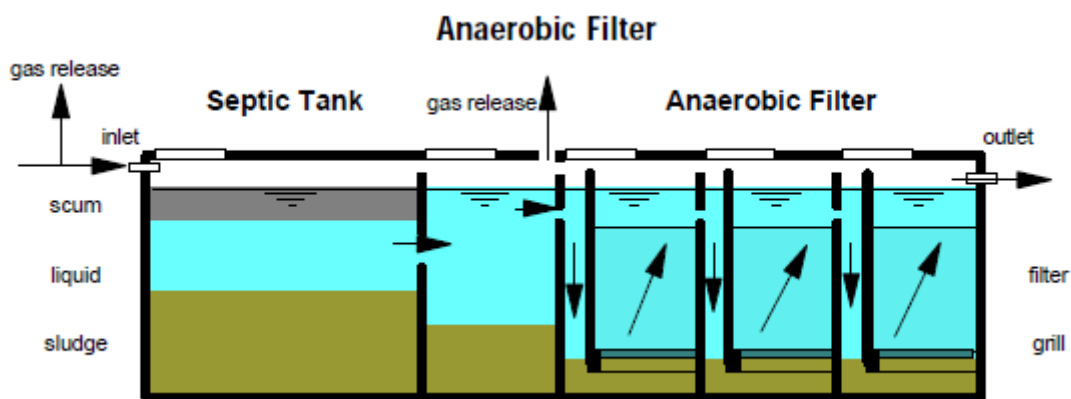


Fig. 3.6: Esempio di dimensionamento con programma informatico (Sasse, 1998)

La figura 3.7 mostra lo schema di un digestore anaerobico all'interno di un barile di plastica standard (200 L). Molto curato è il sistema di collettamento del biogas riutilizzabile (Knowles, 2006).

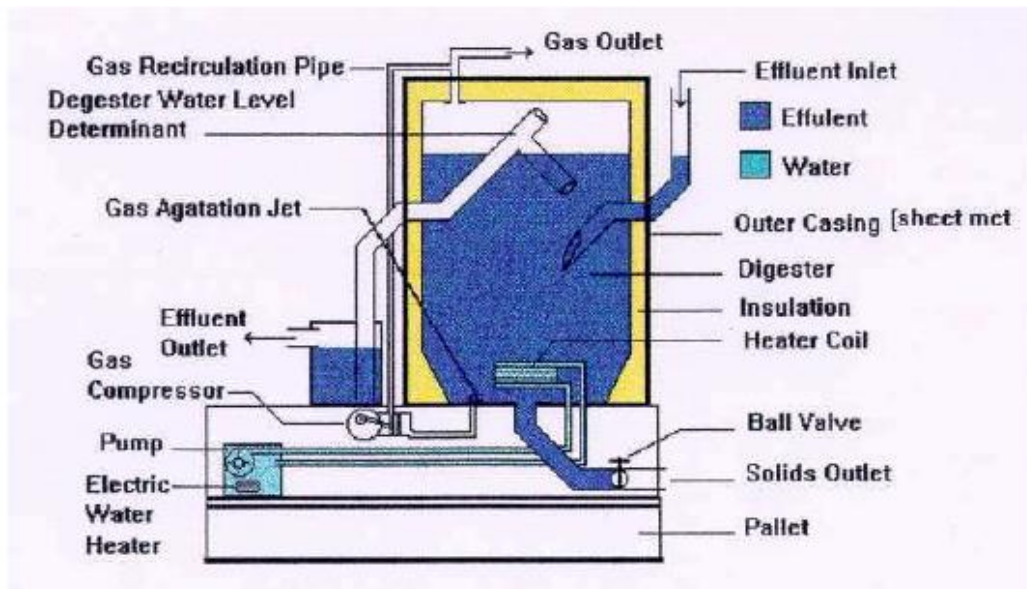


Fig. 3.7: Digestore anaerobico con reattore di plastica (barile standard) (Knowles, 2006)

3.4 MATERIALI E METODI

Le fasi sperimentali su impianti pilota di fitodepurazione e filtrazione anaerobica è stata sviluppata all'interno del laboratorio di Processi e Tecnologie per il trattamento delle acque e dei rifiuti dedicato ad Elisa Gazzola, dell'Università degli Studi di Pavia.

Sono stati costruiti e monitorati 3 impianti seguendo un preciso schema di sperimentazione. Innanzitutto è stato implementato un piccolo sistema di fitodepurazione in batch composto da tre impianti posti in parallelo piantumati con tre differenti tipologie di piante macrofite (*Cyperus*, *Phragmites australis* e *Carex oshimensis*); questa prima fase ha avuto lo scopo di studiare e quindi scegliere la tipologia vegetale caratterizzata da migliori rese depurative.

Quindi, a seguito di un monitoraggio durato circa due mesi, sono stati implementati due diversi sistemi: uno di fitodepurazione di maggiore dimensione (piantumata con la pianta selezionata) e l'altro di filtrazione anaerobica. In questa maniera è stato possibile confrontare i due sistemi, precedentemente scelti per il caso di studio in esame, evidenziandone rese depurative e problematiche. Questa fase è durata circa 3 mesi (**prima fase sperimentale 2011/2012**). Ottenendo delle indicazioni per l'implementazione dei sistemi studiati nel contesto locale del quartiere Moscù II (Ciudad de Guayana, Venezuela). Infatti, nel mese di marzo 2012 sono stati costruiti gli stessi impianti (uno di fitodepurazione e un sistema di filtrazione anaerobica) in una casa presente nel quartiere di Moscù II seguendo i dimensionamenti e i metodi costruttivi utilizzati nelle sperimentazioni italiane.

Dopo sei mesi di costruito l'impianto di fitodepurazione è stato sviluppata una **seconda fase sperimentale in Italia (2012)**, monitorando parametri microbiologici e fisicochimici dell'impianto. Attività svolta secondo semestre 2012.

Nei paragrafi seguenti sono illustrate le metodologie e i materiali utilizzati nella sperimentazione condotta in Italia.

3.4.1 Acque grigie da trattare

- **Raccolta del refluo trattato per la prima fase sperimentale in Italia**

Per il caso della raccolta delle acque grigie per l'impianto pilota realizzato in laboratorio a Pavia è stato deciso di raccogliere le acque grigie di scarico da doccia, cucina, bagno e lavatrice separatamente in diverse taniche. Per il lavandino della cucina e del bagno è stato semplicemente smontato il sifone di scarico e l'acqua di lavaggio veniva raccolta in un recipiente al fondo. Per l'acqua proveniente dalla lavatrice il tubo di scarico è stato unito a un serbatoio di raccolta (in genere è stato raccolto il primo risciacquo), mentre per la doccia l'acqua è stata raccolta all'interno di un catino, dove l'utente effettuava il lavaggio.

La raccolta di questo quantitativo di acqua da trattare è stata effettuata due volte a settimana presso un appartamento abitato da due studenti, collocata in centro a Pavia. A questo punto il quantitativo di refluo che è stato utilizzato è stato diviso percentualmente dalla fonte da cui veniva. Precisamente le percentuali sono state decise a seguito di una ricerca bibliografica:

1. 50% da doccia e lavandino del BAGNO
2. 25% dal lavaggio delle LAVATRICE
3. 25% dal lavandino della CUCINA

- **Raccolta del refluo trattato per la seconda fase sperimentale in Italia**

In questo caso, le acque sono state raccolte il giorno precedente presso l'abitazione del tesista, attraverso l'utilizzo di due taniche da dieci litri ciascuna e immesse la mattina seguente nel serbatoio di alimentazione. Per quanto riguarda la ripartizione delle acque provenienti dal bagno (doccia, lavatrice e lavandino) e dalla cucina, sono state mantenute le proporzioni riscontrate da un'indagine sulle abitudini della famiglia di Barrio Moscù, dove sono stati costruiti i sistemi di trattamento. La ripartizione è la seguente:

- 33% acqua delle docce;
- 27% acqua proveniente dal lavaggio di panni a mano e scarico della lavatrice;
- 20% acqua utilizzata per lavare le mani e i denti nel lavandino del bagno;
- 20% acqua proveniente dalla preparazione di cibi e lavaggio dei piatti in cucina.

3.4.2 Impianti, modalità di costruzione, conduzione e piano di monitoraggio

3.4.2.1 Prima fase sperimentale in laboratorio

- **Primi impianti piccoli di fitodepurazione:**

Il primo impianto alla scala di laboratorio, è stato implementato nel laboratorio Elisa Gazzola del dipartimento di ingegneria idraulica (Università degli Studi di Pavia) a metà del mese di novembre 2011. Tale sistema è stato costruito a seguito di una ricerca bibliografica che ha messo in evidenza le tecniche di dimensionamento, le modalità e i materiali necessari per la sua realizzazione.

Lo scopo del primo impianto, come già accennato, è stato quello di paragonare tre diverse tipologie di piante per la fitodepurazione, quindi quello di capire le dinamiche idrauliche e di costruzione di questa tipologia di trattamento refluo.

Il dimensionamento è stato effettuato calcolando la portata e il tempo di ritenzione necessario per l'abbattimento dei parametri di inquinamento (seguendo la metodologia EPA descritta). E' stata seguita questa metodica per 2 ragioni fondamentali:

- trattandosi di un sistema pilota di dimensioni compatte con lo scopo di ottenere risultati utili a un confronto, è stato considerato inutile dover costruire un impianto di grosse dimensioni che avrebbe richiesto costi e tempistiche maggiori;
- non erano disponibili i dati iniziali (quali portata e concentrazione di BOD in entrata, provenienti dal Venezuela) e quindi una tipologia di reflui paragonabile a quella locale, tali da permettere un dimensionamento preciso e adatto al caso di studio analizzato.

Costruzione: Definiti questi aspetti, sono stati acquistati 3 vasi in plastica con le seguenti dimensioni:

lunghezza: 0.6 m

- larghezza: 0.2 m
- altezza: 0.2 m
- volume: 0.024 m³

Ognuno di questi vasi è stato ulteriormente impermeabilizzato con uno strato di materiale plastico e riempito con materiale filtrante (ghiaia), di granulometria tra 2 e 4 mm, mischiata con sabbia silicea, per una porosità efficace stimata a 0.35 m³/m³.

Il sistema di uscita è stato costruito utilizzando un tubo in plastica rigida di diametro pari a ¼ di pollice (circa 1.1 cm), bucherellato con fori (di circa 2 mm) a distanza regolare usando l'utensile multifunzionale Dremel. Questo tubo è stato collocato sul fondo del vaso al lato di uscita e collegato all'esterno con un altro tubicino in materiale plastico morbido di diametro interno pari a circa 5 mm.

Il sistema di uscita è stato protetto da uno strato di materiale drenante lapillico di pezzatura grossolana (1-2 cm) per evitare che materiale sospeso potesse ostruire i fori di uscita.

Lo stesso sistema è stato applicato per l'entrata allo scopo di creare un flusso del refluo più omogeneo su tutto il lato di ingresso del contenitore. Un tubo in plastica morbida unito a un serbatoio permette il transito dell'acqua reflua all'interno del tubo forato che la diffonde omogeneamente nel mezzo poroso.

Il vaso è stato rialzato nel lato di entrata di circa 1 cm per dare una pendenza al sistema e favorire il flusso all'interno del mezzo. Da letteratura per un sistema di fitodepurazione viene richiesta una pendenza variabile da 0.5 a 1%.

L'acqua grigia tal quale è stata raccolta in 3 contenitori da 5 litri l'uno collegati rispettivamente ad ogni vaso. L'acqua trattata in uscita è stata raccolta in 3 contenitori (da 5 litri). I serbatoi all'entrata sono stati posti a una altezza di 25 cm circa e il tubo di mandata (in materiale plastico morbido) è stato applicato a 4 cm

circa dal fondo del contenitore per permettere (tramite un tempo di ritenzione di circa 2 ore del refluo all'interno del serbatoio) la sedimentazione del materiale più grossolano e la sospensione di olii e grassi, evitando ostruzioni.

Sia le tubazioni di mandata che quelle di uscita sono state dotate di valvole per controllare i flussi in ingresso e uscenti così da poter decidere le portate in gioco e i relativi tempi di permanenza all'interno dei vasi. Nel caso dei tubi di mandata, il regolatore di portata era quello utilizzato per le flebo mediche.

In ogni vaso è stata posta una tipologia vegetale, precisamente: 2 piante di *Cyperus*, 2 di *Phragmites australis* e 2 di *Carex oshimensis*. Le piante erano rizomate (fulcro di radici legate al fusto) e sono state collocate all'interno di uno strato di terriccio per favorirne la crescita. Tutto il sistema (figura 3.8) è stato illuminato mediante lampade apposite per terrari da 15 watt, di colorazione rossa e blu, che favoriscono la fotosintesi clorofiliana. Questo perché l'impianto è stato costruito al chiuso e l'illuminazione naturale, vista la stagione invernale, era minima e le piante richiedevano una buona luce per la loro crescita. Le lampade si accendevano e si spegnevano grazie a un timer che garantiva 12 ore di luce al giorno, in modo da simulare meglio la situazione venezuelana.



Fig. 3.8: Impianto pilota n. 1 nel suo complesso con le luci fitostimolanti

Dati numerici

Tramite le formule, consigliate dalla metodologia di dimensionamento EPA, per gli impianti di fitodepurazione, è stata creata una tabella che legasse i tempi di permanenza con diverse portate. La formula utilizzata è la seguente:

$$t = \frac{n \cdot L \cdot W \cdot d}{Q}$$

dove:

n = porosità del letto;

W = larghezza del letto (m);

d = profondità del letto (m);

L = lunghezza del letto (m);

Q = portata media che attraversa il sistema (m³/d)

Applicando le dimensioni del vaso e variando diverse portate da 20 L/d a 4 L/d, sono stati calcolati i seguenti tempi di ritenzioni riportati in tabella 3.3:

Portate Q		Tp	
0.02	m ³ /d	0.42	d
0.01	m ³ /d	0.84	d
0.008	m ³ /d	1.05	d
0.005	m ³ /d	1.68	d
0.004	m ³ /d	2.1	d

Tab. 3.3: Portate legate al tempo di ritenzione tramite le formule EPA

E' stato quindi calcolato il tempo di permanenza in relazione all'abbattimento del BOD tramite la formula cinetica di primo grado, sempre consigliata dall'EPA:

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp(-K_T \cdot t)$$

dove:

C_i = concentrazione di BOD₅ in ingresso (mg/L);

C_e = concentrazione di BOD₅ in uscita (mg/L);

K_T = costante dipendente dalla temperatura e dalla densità delle piante (giorni⁻¹);

t = tempo di ritenzione (giorni)

La concentrazione di BOD₅ in uscita (C_e) dal sistema è stata posta pari a 15 mg/L (valore al di sotto del valore limite massimo richiesto dal D. lgs. 152/06 per riutilizzo dell'acqua in agricoltura). La concentrazione di BOD₅ in entrata (C_i) al sistema è stata stimata, per ricerca bibliografica, a 200 mg/L, dato che non erano disponibile dati diretti dal luogo di studio a Ciudad de Guayana.

Questo valore deriva da una media sui diversi casi di studio effettuati nel mondo sulle acque grigie e in particolar modo sui valori provenienti da analisi in Costa Rica, considerando che le abitudini e i costumi delle popolazioni dei due paesi sono più simili rispetto ad altri contesti.

La costante K_T è stata calcolata tramite la formula:

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

dove:

K_{20} = costante cinetica a 20°C, è stata posta pari a 1.104 (EPA, 1999)

θ = costante pari a 1.06 (EPA, 1999)

T = temperatura esterna pari a 18°C

In questo modo la costante K_T è stata approssimata a 1.104, visto che la temperatura nel laboratorio è di circa 20°C. Con questi valori è stato quindi calcolato il tempo di ritenzione necessario per l'abbattimento del BOD ed è risultato pari a:

$$t = 1.76 \text{ d}$$

A questo valore di tempo corrisponde una portata pari a:

$$Q = 4\text{-}5 \text{ L/d}$$

L'impianto è stato quindi alimentato con questa portata e il flusso in entrata ed uscita è stato regolato tramite le valvole presenti nei tubi di mandata e presa, per garantire il tempo richiesto. Dopo l'effettuazione di alcune prove il tempo di ritenzione è stato semplificato a 48 ore.

Modalità di conduzione dei primi impianti piccoli di fitodepurazione e piano di monitoraggio: Le acque grigie, raccolte secondo la modalità descritta per il primo monitoraggio, sono state stoccate in contenitori da 5 L e lasciate decantare per circa 2 ore, così da favorire una prima rimozione dei solidi sospesi sedimentabili e delle sostanze più leggere per flottazione, successivamente sono state utilizzate per alimentare i 3 sistemi pilota di fitodepurazione. Il monitoraggio dei tre sistemi pilota di fitodepurazione è stato effettuato analizzando i parametri chimici e chimico-fisici principali, mentre i parametri microbiologici sono stati monitorati nella seconda fase del lavoro sperimentale e quindi riferendosi all'impianto pilota realizzato a scala maggiore. Il piano di monitoraggio è schematizzato nella tabella 3.4

Parametro	Unità di misura	Frequenza	Tipologia di acqua analizzata
Temperatura	°C	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
Torbidità	NTU	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
pH	-	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
Ossigeno Disciolto (O.D)	mg/L	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
Conducibilità (χ)	mS/cm	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
COD	mg/L	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
BOD ₅	mg/L	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
Azoto totale (TN)	mg/L	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti
Fosforo totale (TP)	mg/L	2 volte settimana (1 IN-1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita 3 impianti

Tab. 3.4 Campagna di monitoraggio impianto a scala di laboratorio

- **Secondo impianto di fitodepurazione**

Il secondo impianto è stato costruito nel mese di gennaio 2012, nel laboratorio Elisa Gazzola del dipartimento di Ingegneria Idraulica (Università degli Studi di Pavia), al termine del periodo di monitoraggio effettuato sul primo impianto. Infatti il monitoraggio del primo sistema pilota di fitodepurazione ha permesso di selezionare le piante che hanno fornito i risultati migliori sull'abbattimento di parametri inquinanti quali torbidità, COD, BOD, azoto totale e fosforo totale.

Il dimensionamento in questo caso è stato effettuato in maniera standard, seguendo la procedura EPA. In questo caso, infatti, sono stati utilizzati i valori di BOD massimi in entrata ottenuti nei due mesi di sperimentazione sul primo impianto. La portata è stata aumentata per rendere il caso di studio più simile al un caso reale venezuelano. Avendo delle dimensioni predefinite è stato deciso di costruire la struttura dell'impianto in legno, così da poter assegnare le misure volute e contenere i costi. Questa scelta si è poi dimostrata fallimentare in quanto (nonostante una curata impermeabilizzazione), l'impianto ha ceduto al peso e all'umidità, procurando grosse perdite non trascurabili.

È stato quindi implementato un nuovo sistema in plastica di dimensioni leggermente minori, che hanno richiesto una diminuzione della portata di refluo in entrata. Tale impianto risulta comunque di dimensioni valide per una sperimentazione paragonabile al caso reale.

Costruzione: L'impianto è stato infatti poi sostituito con uno di plastica, ma le metodologie di costruzione e i materiali usati sono sempre stati gli stessi. L'uscita era composta, come nel primo, da un tubo di plastica rigida, collegato a un tubo di plastica morbida che si unisce a un serbatoio in uscita (con capacità di circa 30 litri). Nella stessa maniera è stata costruita l'entrata: un tubo forato che permette una dispersione omogenea del refluo lungo tutto il lato d'ingresso, collegato a un tubo di plastica morbida che è direttamente connesso al serbatoio di monte.

Il serbatoio di monte è costituito da un bidone in plastica da 50 litri che funge da trattamento primario. L'acqua rimane stoccata per tre ore permettendo la sedimentazione della parte più grossolana e la flottazione di olii, grassi e schiume.

Il tubo di mandata è collegato con il contenitore dell'ingresso a circa 7 cm dal fondo, per garantire il deposito della matrice sedimentabile. Infine questo tubo è posto ad un'altezza di circa 70 cm a ridosso del lato di ingresso dell'impianto di fitodepurazione. Da analisi effettuate (vedi cap. 5) questo semplice sistema di stoccaggio iniziale permette un abbattimento del 15-25% del BOD. La perdita di carico del sistema di filtrazione è stata stimata tra 30 e 50 cm sul carico piezometrico (Sasse, 1998).

L'impianto di fitodepurazione è posto a terra, riempito da materiale filtrante di granulometria variabile tra 2 e 10 mm, con sabbia silicea per una porosità specifica stimata a $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (fig.). Lapilli vulcanici drenanti sono stati posti a protezione del tubo forato in uscita (per scongiurare ostruzioni del sistema) e in entrata per garantire un flusso libero e omogeneo del refluo. (Figura 3.9)



Fig. 3.9: Le diverse granulometrie del mezzo poroso utilizzato, si nota anche l'impermeabilizzazione il Celfan

Sia la tubazione di mandata che quella di uscita sono dotate di valvole per controllare i flussi in ingresso e uscenti così da poter regolare le portate in gioco e i relativi tempi di permanenza all'interno dell'impianto. Il sistema è stato piantumato con 3 piante di cyperus papyrus e 6 di carex oshimensis. I papiri sono stati posti in centro e verso il lato di uscita del sistema, mentre i carex all'ingresso, in quanto data la limitata

lunghezza delle radici possono ricevere così essere lambite dal flusso di acqua che è ad una quota più alta all'ingresso.

Il sistema è posto più vicino alla finestra del laboratorio rispetto al primo, in modo che esso possa prendere direttamente la luce dal sole. Sono state comunque poste due lampade da 40 watt l'una per garantire 12 ore di luce. All'interno del laboratorio la temperatura è attorno ai 20°C, garantendo un ambiente favorevole alla crescita vegetale.

Nella figura si può vedere l'impianto, in plastica. Il campione in ingresso è stato prelevato prima di versare all'interno del serbatoio le acque grigie raccolte in casa; mentre per prelevare il campione in uscita, è stata collegata alla parte inferiore del biofiltro, una bacinella in plastica attraverso un tubicino in plastica dotato di una piccola valvola di regolazione del flusso d'acqua uscente. (Figura 3.10)



Fig. 3.10: Impianto pilota fitodepurazione in laboratorio a Pavia

Dati numerici: Il dimensionamento è stato effettuato seguendo esattamente la metodologia EPA. Sono stati imposti come dati:

$$C_e = 1000 \text{ mg/l}$$

$$C_i = 20 \text{ mg/l}$$

$$K_T = 1.104 \text{ d}^{-1}$$

Il valore C_e deriva dal massimo valore di concentrazione di BOD_5 in entrata nella prima sperimentazione. C_i è il valore di concentrazione limite per il BOD_5 nel D.lgs 152/2006, è stato ottenuto un tempo di ritenzione pari a: $t = 3.5 \text{ d}$

Da qui utilizzando la formula 1 sono state definite le dimensioni riportate in tabella 3.5:

Dimensioni finali	
h	0.6M
N	$0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$
As	0.55 m^2
W	0.50M
L	1.10M
Volume	0.33 m^3

Tab. 3.5: Dimensioni secondo impianto in legno

La portata è stata imposta a 25 L/d ciò per garantire un carico idraulico minore di 0.04 m/d come richiesto da Masotti-Verlicchi (2005), per non sovraccaricare l'impianto.

$$C = Q/As = 0.025/0.55 = 0.045 \text{ m/d}$$

Esso risulta leggermente superiore al valore consigliato, ma è comunque accettabile come confermato sempre da Masotti-Verlicchi (2005), nei casi di dimensionamento da loro descritti. Con questa portata il tempo di ritenzione è aumentato a 4.6 giorni, che poi è stato semplificato a 4 giorni in seguito alle sperimentazioni.

Per quanto riguarda il dimensionamento con il metodo EPA per l'azoto, esso è stato evitato in quanto le concentrazioni di questo parametro all'interno di acqua reflua grigia è piuttosto limitato e quindi considerato trascurabile. E' stata quindi ricavato un vascone in plastica di dimensioni:

- lunghezza: 0.8 m
- larghezza: 0.6 m
- altezza: 0.4 m
- volume: 0.2 m³

Il nuovo impianto risulta essere 2/3 di quello dimensionato, per questo motivo la portata è stata diminuita a 20 L/d per garantire un carico idraulico accettabile dal limite di 0.04 m/d richiesto da Masotti-Verlicchi 2005.

$$C = Q/As = 0.02/0.48 = 0.041 \text{ m/d}$$

Per dimensioni l'impianto sostitutivo risulta accettabile, l'unico limite è l'altezza di 0.4 m che risulta bassa considerato che le radici del papiro posso raggiungere anche i 0.7 m. Comunque l'APAT consiglia sempre profondità da 0.4 a 1m per gli impianti di fitodepurazione, perciò il valore rientra nei range consigliati dalla bibliografia.

Con questi dati, il tempo di permanenza nell'impianto, utilizzando la formula 1, risulta pari a: $t = 3.3 \text{ d}$

Questo tempo è stato generalmente rispettato in tutte le prove, se non aumentato a 3.5-4 d ma senza generare variazioni sulle rese depurative. Il funzionamento idraulico è stato verificato tramite la formula di Darcy, come richiesto dalle linee guida dell'EPA.

$$Q_{\text{darcy}} = K_s * A * S$$

Dove:

Q_{darcy} = portata media che attraversa il sistema (m³/d)

A = area totale della sezione perpendicolare al flusso (m²)

S = gradiente idraulico (m/m), ovvero il rapporto fra la differenza di quota tra il livello di liquido fra l'uscita e l'ingresso e la lunghezza del letto

K_s = conducibilità idraulica del sistema filtrante perpendicolarmente al flusso (m³/m²/d)

Se la $Q_{\text{darcy}} < Q$ (di dimensionamento) allora è verificato, altrimenti bisogna controllare i valori della concentrazione di BOD₅ utilizzati nella prima formula

I parametri nel caso di dimensionamento sono pari a:

$$K_s = 0.864 \text{ m/d}$$

$$A = 0.22 \text{ m}^2$$

$$S = 0.089 \text{ (metodo UniCa)}$$

$$Q_{\text{darcy}} = 0.017 \text{ m}^3/\text{d} < Q_{\text{dim}} = 0.02 \text{ m}^3/\text{d}$$

Il sistema risulta così verificato.

Modalità di conduzione del secondo impianto del fitodepurazione e piano di monitoraggio: Le acque grigie, raccolte secondo la modalità descritta per la prima fase di monitoraggio, sono state stoccate in contenitori da 50 L e lasciate decantare per circa 3-4 ore, così da favorire una prima rimozione dei solidi sospesi sedimentabili e delle sostanze più leggere per flottazione.

Le acque trattate e stoccate in questo serbatoio sono state analizzate dopo un tempo di stoccaggio di 4 ore. Il monitoraggio dell'impianto di fitodepurazione è stato effettuato analizzando i parametri chimici e chimico-fisici e microbiologici. Il piano di monitoraggio è schematizzato nella tabella 3.6

Parametro	Unità di misura	Frequenza	Tipologia di acqua analizzata
Temperatura	°C	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
Torbidità	NTU	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
pH	-	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
Ossigeno Disciolto O.D	mg/L	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
Conducibilità (χ)	mS/cm	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
Solidi sospesi totali	mg/L	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
COD	mg/L	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
BOD ₅	mg/L	3 volte settimana (2 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, ingresso serbatoio di stoccaggio dopo 4 ore, uscita
Azoto totale (TN)	mg/L	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
Fosforo totale (TP)	mg/L	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT)	Ingresso tale quale, uscita
Nitrati (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT), prime 4 sett.	Ingresso tale quale, uscita
Nitriti (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT), prime 4 sett	Ingresso tale quale, uscita
E.coli	UFC/100 mL	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT), prime 4 sett	Ingresso tale quale, uscita
Coliformi fecali	UFC/100 mL	2 volte settimana (1 IN- 1 OUT), ultime 4 sett	Ingresso tale quale, uscita

Tab. 3.6: Campagna di monitoraggio impianto a scala pilota

Le analisi effettuate sul BOD₅ all'uscita dal serbatoio di stoccaggio dopo 4 ore di ritenzione, è stato effettuato prelevando il refluo all'altezza del tubo di mandata (circa 7 cm dal fondo del serbatoio).

- **Filtro anaerobico**

L'impianto di trattamento anaerobico è la seconda tecnologia scelta per il trattamento delle acque grigie nel quartiere di Moscú a Ciudad de Guayana, Venezuela. La costruzione è avvenuta contemporaneamente con il secondo impianto di fitodepurazione ed è stato collocato sempre nel laboratorio di processi e tecnologie per il trattamento delle acque e dei rifiuti dedicato ad Elisa Gazzola. Anche in questo caso la costruzione è terminata verso fine gennaio e le prove di monitoraggio sono cominciate verso inizio febbraio 2012.

Per la costruzione dell'impianto sono state consultate le linee guida nel dimensionamento di Morel-Diener, 2006 e di Sasse, 1998. La costruzione è stata molto semplice una volta reperiti un contenitore in plastica che fungesse da reattore e del materiale filtrante, (Figura 3.11).



Fig. 3.11: Reattore dell'impianto anaerobico

L'impianto però, seppur messo in attività rapidamente, ha mostrato problemi nell'azione depurante. Durante le prime sperimentazioni, infatti l'acqua in uscita risultava più torbida dell'inizio e con valori di BOD₅ che addirittura crescevano rispetto all'entrata. Da ricerche bibliografiche è emersa la lentezza di messa in opera del sistema che, secondo Sasse avviene dopo 3-9 mesi, e la necessità di inoculare della flora batterica all'interno del reattore. Ci si aspettava però un minimo di resa depurativa, visto che il refluo viene comunque trattato per filtrazione nell'impianto.

Costruzione: Il sistema è composto da un barile in plastica da 55 litri collegato al serbatoio di entrata da un tubo in plastica morbida di diametro pari a 0.5 cm. Il serbatoio di entrata (da 50 L) è lo stesso per l'impianto di fitodepurazione, per questo il refluo prima di entrare nel sistema subisce un pre-trattamento di sedimentazione e flottazione con tempo di permanenza pari a 3 ore. Ciò garantisce al sistema di filtrazione di non ostruirsi, dato che la granulometria piuttosto fine di cui è composto il mezzo filtrante si può occludere facilmente producendo un blocco totale del sistema.

Il barile di plastica è riempito da uno strato di ghiaia grossa sul fondo, che funge da sostegno per gli strati superiori proteggendo la condotta di uscita, posta alla base in plastica morbida, dal passaggio di materiale grossolano. Sopra questo strato poggia uno strato di sabbia grossa (0.25 mm) e sulla superficie uno strato di ghiaia fine (circa 2-4 mm). La figura 3.12 mostra la stratificazione dell'impianto con gli spessori di ogni livello.

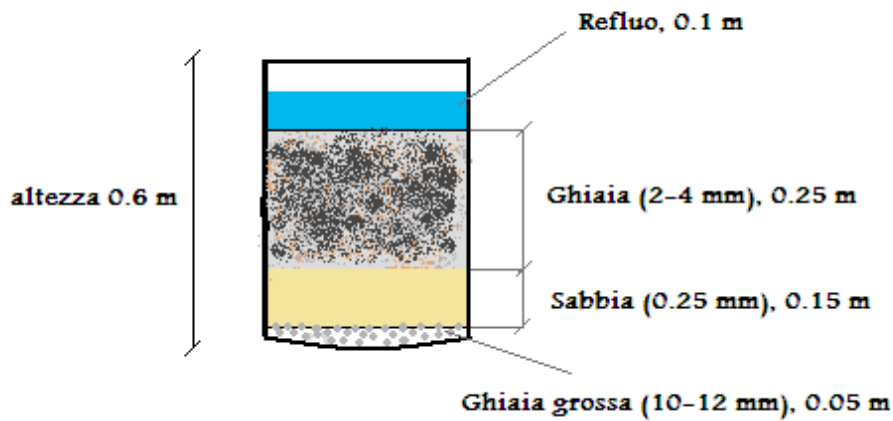


Fig. 3.12: Stratigrafia del digestore anaerobico

Lo strato di ghiaia risulta il più spesso in quanto la flora microbologica si forma nei primi centimetri della stratificazione. Essa necessita un'ampia area per svilupparsi e una granulometria più grossolana la fornisce con meno pericoli di ostruzione del sistema (Morel e Diener, 2006; Sasse, 1998).

Uno strato variabile fino a 10 cm di refluo copre lo strato superiore di ghiaia per garantire un flusso continuo del sistema e la sua anaerobicità (Sasse, 1998). La filtrazione avviene in senso discendente (down-flow), sebbene in bibliografia sia consigliato il flusso ascendente soprattutto per motivi di pulizia del reattore. Il sistema implementato in laboratorio, invece, è stato costruito in senso discendente per tre motivi principali:

- per semplicità costruttiva e di controllo delle dinamiche idrauliche che avvengono al suo interno;
- per il breve monitoraggio (circa 2 mesi), che rende una pulizia completa non necessaria (in genere viene effettuata circa ogni 6-9 mesi, Masotti-Verlicchi 2005);
- per la differenza di efficienza depurativa tra un sistema up-flow e uno down-flow, che risulta praticamente uguale (Sasse, 1998).

L'entrata avviene tramite un tubo di plastica morbida (diametro 0,5 cm) collegato al serbatoio di mandata (lo stesso del sistema di fitodepurazione). Per rendere la dispersione del refluo all'interno del barile più omogenea (evitando così la formazione di buchi nel mezzo poroso e vie principali), il tubo all'interno del reattore è legato a un imbuto. Il refluo entra attraverso i bordi esterni dell'imbuto disperdendosi in maniera omogenea.

Una volta però che l'impianto funziona ed è presente uno strato di refluo già sopra lo strato di ghiaia superficiale, questo sistema di ingresso risulta non necessario. L'uscita del sistema avviene sempre tramite un tubo di plastica morbida (0,5 cm di diametro) collegato con il fondo del reattore all'interno dello strato di ghiaia grossa più profondo. Il tubo è ulteriormente protetto da una griglia di maglia fine per scongiurare ulteriormente problematiche di intasamento. Il tubo in uscita entra in un altro serbatoio di accumulo di circa 25 litri di volume. Sia le tubazioni di mandata che quelle di uscita sono state dotate di valvole per controllare i flussi in ingresso e uscenti così da poter decidere le portate in gioco e i relativi tempi di permanenza all'interno dei vasi. Dato che l'entrata dell'impianto di fitodepurazione e quello anaerobico è la stessa, i sistemi lavorano in parallelo.

Dati numerici: Il dimensionamento è stato effettuato seguendo quelli che sono i consigli costruttivi dettati dalle numerose esperienze bibliografiche con questo genere di impianti (Morel-Diener, 2006; Masotti-Verlicchi, 2005; Sasse, 1998; Clark, 2001; Sperling-Chemicaro, 2005; Al-Jayyalusi, 2002, Corea, 2001; Burnat, 2005; Young, 1991; EPA, 2004; Rodriguez, 2006; Knowles, 2006; Ahmed-Rahman, 2003) Il tempo di permanenza è il parametro principale nel dimensionamento di questo genere di sistemi. Il tempo varia da 0.5 a 2 d con un carico idraulico massimo di 2.8 m/d (Young, 1991). Nel caso sperimentale è stato scelto un tempo di ritenzione di circa 2 giorni che, dovrebbe garantire un abbattimento sul COD attorno al 75 %.

Questi valori sono relativi a un carico di COD in entrata attorno a 1500 mg/L e una temperatura di 25 °C. Dato che il carico di COD in nel sistema è sempre attorno ai 1000-1200 mg/L e la temperatura tra i 21 e i 22 °C, tali rese ipotetiche sono considerate accettabili. Il dimensionamento è stato effettuato utilizzando la metodologia usata negli esempi pratici forniti da Sasse, 1998. Il volume è stato misurato con la semplice formula:

$$V = \text{HRT} * \text{IN}_{\text{flow}}$$

dove:

HRT= tempo di permanenza (d)

IN_{flow} = portata in entrata (m^3/d)

La portata in ingresso è un dato specifico del caso analizzato, mentre il tempo di permanenza viene scelto seguendo i consigli dei diversi esperti del campo (nel caso di studio 2 giorni). In questo caso sperimentale anche la portata può essere scelta in quanto l'impianto viene caricato di refluo di una quantità a piacere. Nel caso è stato scelto un volume di 20 L di refluo da trattare, così da potere utilizzare i contenitori da 55 L che sono stati reperiti. Con questi valori, il volume richiesto è di:

$$V = 2 \text{ d} * 0.02 \text{ m}^3/\text{d} = 0.04 \text{ m}^3 = 40 \text{ L}$$

Il reattore scelto è così sovradimensionato rispetto a quanto richiesto, ma permette la ritenzione di maggior refluo. Nel caso in cui la portata fosse maggiore, il volume richiesto alto e fossero disponibili contenitori in plastica quali barili standard (da 200 L) o barili da 50 L, basta porre questi reattori in serie per coprire il volume richiesto dal tempo di permanenza scelto.

E' stata poi effettuata una verifica sul carico organico (COD) massimo, che viene consigliato al di sotto dei $5 \text{ kg} / \text{m}^3 * \text{d}$ (Sasse, 1998). E' stata utilizzata la seguente formula:

$$C_{\text{max}} = \text{COD}_{\text{in}} * \text{IN}_{\text{flow}} / (V * n)$$

Dove:

C_{max} = carico organico (COD) massimo ($\text{kg} / \text{m}^3 * \text{d}$)

COD_{in} = concentrazione di COD in entrata al sistema (kg / m^3)

IN_{flow} = portata in ingresso al sistema (m^3/d)

V = volume (m^3)

n = porosità specifica (m^3/m^3)

Nel caso sperimentale è stato posto il volume calcolato, la portata scelta e la porosità del mezzo filtrante (stimata a 0.35). Per la concentrazione di COD in entrata, invece,

è stata scelta la massima misurata nella campagna di monitoraggio effettuata con il primo impianto. Essa risultava pari a 2200 mg/L.

Con questi valori è risultato un carico organico pari a: $C_{max} = 2.285 \text{ kg/ m}^3 \cdot \text{d}$

Tale valore risulta inferiore ai $5 \text{ kg/ m}^3 \cdot \text{d}$ e quindi l'impianto risulta verificato.

Una perdita di carico idraulico di 30-50 cm è stata stimata a monte dell'impianto come analizzato da Sasse, 1998 per i sistemi di filtrazione. L'impianto viene alimentato in modo da garantire uno strato di acqua reflua al di sopra del primo strato di materiale filtrante che varia tra i 3 e i 10 cm, In questo modo si ha un carico idraulico continuo come consigliato dalla letteratura.

Nelle prime due settimane è stato studiato l'andamento idraulico per mantenere il tempo di permanenza richiesto, con l'utilizzo di acqua reflua diluita con acqua da rubinetto. Quindi è cominciata la fase di analisi che ha dato risultati non positivi.

Anche senza effettuare analisi chimiche, il depurato risulta torbido e dall'odore acre. All'inizio è stato ipotizzato che il problema fosse nel dilavamento del materiale filtrante all'interno (è stato supposto che esso fosse sporco). Con il passare delle settimane, dato che non sono stati rilevati miglioramenti, questa teoria è stata scartata. Più probabilmente è il tempo di attivazione che è troppo breve. Da letteratura, si consiglia un inoculo di flora batterica e l'attesa dai 3 ai 6 mesi perché l'impianto funzioni a regime.

In data 27 marzo 2012 è stato immesso un inoculo proveniente dal digestore anaerobico presente nel depuratore di Pavia. Sono state effettuate alcune analisi per seguire un possibile avviamento dell'impianto.

Modalità di conduzione del filtro anaerobico e piano di monitoraggio: Il monitoraggio sul filtro anaerobico è cominciato in concomitanza con le analisi sul sistema di fitodepurazione a scala pilota. Il primo campionamento è stato effettuato il 27 febbraio, ma già visivamente dall'uscita, è risultato evidente un problema di malfunzionamento. L'uscita risultava decisamente torbida e dall'odore molto acre. Le analisi sono continuate per altre 2 su parametri limitati, quali: pH, torbidità, O.D., conducibilità, COD e BOD₅ e visti i pessimi risultati, sono state sospese. È stato messo un inoculo in data 27 marzo proveniente dal digestore anaerobico del depuratore di Pavia. Le prime analisi sono state come le precedenti e ciò dimostra la necessità di un tempo più prolungato per permettere l'avviamento dell'impianto.

3.4.2.2 Seconda fase sperimentale con il secondo impianto di fitodepurazione

Il secondo monitoraggio è stato sviluppato nel periodo di agosto a settembre 2012, utilizzando lo stesso impianto di fitodepurazione costruito nel mese di gennaio 2012, nel laboratorio Elisa Gazzola del dipartimento di Ingegneria Idraulica (Università degli Studi di Pavia). Il piano di monitoraggio redatto per la sperimentazione sul secondo impianto di fitodepurazione viene riportato in tabella 3.7.

PARAMETRO	PUNTI DI CAMPIONAMENTO	N° TOTALE DI ANALISI PER PUNTO DI PRELIEVO
Temperatura	-IN Biofiltro -OUT Biofiltro	10
pH		2
O.D.		2
EC		10
Torbidità		10
SST		10
BOD		10
COD		10
Azoto Totale		7
Fosforo Totale		9
Coli. Totali		9
E. Coli		9
Coli. Fecali		5
Salmonella		5

Tab. 3.7: Piano di monitoraggio per la sperimentazione a Pavia

- La concentrazione entrante C_e è stata assunta pari a 1000 mg/L: dato massimo risultante dalla prima fase di monitoraggio effettuata con lo scopo di individuare le tipologie di piante che garantissero le rese di rimozione più elevate;
- La concentrazione in uscita C_i è stata assunta pari al limite normativo per il BOD_5 (D.Lgs. 152/2006) di 20 mg/L;
- La temperatura è stata assunta pari a 18°C;
- Portata entrante al sistema pari a 25 L/d.

E' stato mantenuto un HRT pari a 1 giorno, per avvicinarsi al caso venezuelano e poter quindi confrontare i risultati trattati nel capitolo successivo. Le analisi sul campione in uscita sono state effettuate il giorno seguente all'alimentazione nel serbatoio, garantendo così un tempo di ritenzione idraulica pari a un giorno, ovvero il tempo di ritenzione medio riscontrato per il biofiltro in Venezuela.

3.4.3 Parametri, strumentazione e metodologia di analisi

Tutte le analisi sperimentali sono state effettuate nel laboratorio di processi e tecnologie per il trattamento delle acque e dei rifiuti, nel dipartimento di Idraulica a Pavia, utilizzando strumenti già presenti nel laboratorio o ricevuti dall'Università di Brescia tramite il CeTAmb. I parametri analizzati sono stati:

1. temperatura (T)
2. torbidità
3. pH
4. ossigeno disciolto (O.D.)
5. conducibilità (χ)
6. solidi sospesi totali (SST)
7. COD
8. BOD_5
9. azoto totale (TN)
10. fosforo totale (TP)
11. nitriti ($N-NO_2^-$)
12. nitrati ($N-NO_3^-$)
13. Escherichia coli (E. Coli)
14. Coliformi fecali (Coli. F)

15. Coliformi Totali (CT)

16. Salmonella

Per i parametri quali temperatura, torbidità, pH, O.D, conducibilità, BOD e SST, essi sono stati analizzati tramite strumentazioni appositi, mentre gli altri tramite kit di analisi confezionati in "cuvette" e poi letti con un apposito spettrofotometro. Per ogni misura saranno ora elencate le metodologie di analisi e gli appositi strumenti utilizzati.

Temperatura: La temperatura viene indicata utilizzando una delle sonde utili per la misura di pH, O.D o conducibilità. Le sonde sono collegate a degli strumenti elettronici, più precisamente sono stati utilizzati il WTW multiset 3420 (che misura anche pH e O.D) e il WTW cond 3110 (che misura la conducibilità).

Torbidità: La torbidità è stata misurata utilizzando lo strumento WTW turb 430 iR. L'acqua da analizzare veniva introdotta in un'apposita boccetta trasparente che si infila all'interno dello strumento. Tramite un fascio di luce, viene calcolata la torbidità del campione e il valore viene indicata sul display in NTU (Nephelometric Turbid Unit). Esistono anche altre unità di misura per la torbidità che sono l'FTU (Formazine Turbidity Unit) (identica alla NTU), l'unità di silice ($\text{mg SiO}_2/\text{L}$) e la JTU (Jackson Turbidity Unit).

pH: E' stato misurato tramite un'apposita sonda (pHmetro) collegata allo strumento WTW multiset 3420. La sonda è stata collegata allo strumento e posta all'interno del campione di acqua. Sul display dello strumento il valore di pH viene indicato immediatamente. Per validare il risultato, alcune misure sono state effettuate parallelamente utilizzando opportuni indicatori che cambiano colore in corrispondenza di un determinato valore di pH.

Ossigeno disciolto (O.D): L'ossigeno disciolto è stato misurato tramite un'apposita sonda (ossimetro) collegata allo strumento WTW multiset 3420 (lo stesso per il pH). La sonda è stata collegata allo strumento e posta all'interno del campione di acqua. Sul display dello strumento il valore di pH viene indicato immediatamente in mg/L . È stato necessario aspettare qualche secondo per permettere allo strumento di calibrarsi e di fornire il risultato esatto.

Conducibilità (χ): La conducibilità è stata misurata tramite un'apposita sonda collegata allo strumento WTW cond 3110. La sonda è stata collegata allo strumento e posta all'interno del campione di acqua. Sul display dello strumento il valore di conducibilità viene indicato immediatamente in $\mu\text{S/cm}$.

Solidi sospesi totali (SST): Il refluo viene fatto filtrare in un filtro caratterizzato da una porosità di $0.45 \mu\text{m}$, che trattiene la matrice solida sospesa (per questo motivo talvolta sono chiamati anche solidi non filtrabili). L'azione di filtraggio è aiutata da una pompa a vuoto, quindi il tutto viene essiccato in un forno a temperatura compresa tra 103 e 105°C . L'aumento in peso del filtro rappresenta, per l'appunto, i solidi sospesi totali. Cioè è misurato con una bilancia da precisione.

BOD₅: Nelle prove sperimentali effettuate è stato utilizzato il misuratore di BOD OxiTop. Si tratta di uno dei più semplici sistemi di misurazioni presenti. Avvitandolo, come fosse un coperchio, sull'apposita bottiglia in vetro scuro, rileva la pressione nell'intercapedine tra lo spazio vuoto e la superficie del liquido, grazie a un

trasduttore collegato a un microprocessore. Questa bottiglia è stata posta su un agitatore magnetico (che muove un ancorotta metallica al suo interno) posto in un incubatore con temperatura costante a 20°C, per una durata di 5 giorni.

Il volume del campione viene scelto in base al risultato presunto. All'inizio si ipotizza un valore pari a circa l'80% del COD, poi quanto i valori sono omogenei si utilizza un volume già noto. A ogni range di BOD corrisponde un determinato volume e un determinato fattore di correzione con cui bisogna moltiplicare il risultato ottenuto sul display sul tappo OxiTop.

Infine il sistema OxiTop è dotato di un contenitore in plastica per l'alloggiamento di due pastiglie di potassa (KOH), con lo scopo di neutralizzare l'eventuale formazione di CO₂, che può interferire con questa metodologia di misura. Il tappo memorizza cinque valori (uno ogni 24 ore) di BOD e, mediante i tasti S ed M posti vicino al display sarà possibile visualizzarli durante o a fine del periodo scelto.

COD: La misura viene effettuata facendo reagire il campione di liquame, acidificato con acido solforico, con bicromato di potassio, portando ad ebollizione dopo 2 ore con un apposito forno per cuvette. Dopo che la cuvette si è raffreddata è possibile ottenere il valore di COD in mg/L con l'utilizzo di uno spettrofotometro. Nel caso sperimentale è stato utilizzato il macchinario Dr.Lange CADAS 30s. Nella fase sperimentale sono stati utilizzati due diversi kit della Hach-Lange per la determinazione di questo parametro: LCK 514 con range da 100 a 2000 mg/L (per il refluo in entrata) e LCK 314 con range tra 15 e 150 mg/L (per l'uscita).

Fosforo Totale (TP): La misura del fosforo totale è stata effettuata utilizzando il kit di misurazioni per ortofosfati e fosforo totale della Hach-Lange LCK 348. Questo kit permette misurazioni all'interno dei seguenti range: 0.5-5.0 mg/L per il PO₄-P; 1.5-15 mg/L per il PO₄. La prova avviene inserendo una quantità di 0.5 mL di refluo all'interno dell'apposita cuvetta, quindi viene miscelato con una polvere presente nel tappo (scuotendo). La provetta viene fatta riscaldare per un ora a una temperatura di 100°C in un apposito forno per riscaldare le cuvette. Passata l'ora viene lasciata raffreddare, quindi vengono immessi 0.2 mL di reagente e dopo 10 minuti la provetta è pronta per essere misurata. La misurazione è stata effettuata utilizzando lo spettrofotometro Dr. Lange CADAS 30s (fig. 4-25). Questo strumento permette la lettura degli fosfati e del fosforo totale (sotto forma di PO₄-P).

Azoto Totale (TN): La misura dell'azoto totale è stata effettuata utilizzando il kit di misurazione dell'Hach-Lange LCK 138 con range da 1 a 16 mg/L. L'azoto inorganico e organico viene ossidato in nitrato dissociandolo con il perossidisolfato. Gli ioni nitrato reagiscono in soluzione solforica e fosforica col 2.6- dimetilfenolo, dando il nitrofenolo che viene letto dallo spettrofotometro come azoto totale. Come per gli altri test con kit in cuvette, la lettura è stata effettuata con lo spettrofotometro Dr. Lange CADAS 30s. La prova viene effettuata miscelando 1.3 mL di refluo con due diversi reagenti, quindi scaldato a 100°C per 1 ora. Dopo questa fase si lascia raffreddare, viene miscelato 0.5 mL di questo composto con un altro reagente e dopo 15 minuti si ha la lettura nello spettrofotometro.

Azoto nitrico (N-NO₂): Per effettuare questo test è stato utilizzato il kit dell'Hach-Lange LCK 341 con range tra 0.015-0.6 mg/L per N-NO₂ e 0.05-2.0 mg/L per NO₂. Un campione di 2 mL di refluo viene miscelato con un reagente all'interno della cuvette, quindi dopo 10 minuti si può avere la lettura nello spettrofotometro. Ciò

senza dover riscaldare il campione. Come per gli altri test con kit in cuvette, la lettura è stata effettuata con lo spettrofotometro Dr. Lange CADAS 30s.

Azoto nitroso (N-NO₃): Per effettuare questo test è stato utilizzato il kit dell'Hach-Lange LCK 339 con range tra 0.23-13.5 mg/L per N-NO₃ e 1-60 mg/L per NO₃. Ioni nitrato reagiscono in soluzione di acido solforico-fosforico con 2.6-dimetilfenolo dando 4-nitro-2.6-dimetilfenolo. Questo da poi la lettura di azoto nitroso dallo spettrofotometro.

Un campione di 1 mL di refluo viene miscelato con i reagenti all'interno della cuvette, quindi dopo 15 minuti si ha il valore. Come per gli altri test con kit in cuvette, la lettura è stata effettuata con lo spettrofotometro Dr. Lange CADAS 30s.

Parametri microbiologici: I parametri microbiologici complessivamente considerati nelle sperimentazioni italiana sono i Coliformi Totali, Coliformi Fecali, Escherichia Coli e Salmonella:

I *coliformi totali* sono presenti in concentrazioni molto elevate nelle feci umane ed animali, ma buona parte non ha questa origine, per cui non possono essere considerati indici assoluti di contaminazione fecale.

I *coliformi fecali* comprendono batteri termoresistenti (44°C), il cui habitat naturale è l'intestino di uomini e animali. La specie più rappresentativa è l'*Escherichia coli*, ospite predominante della popolazione batterica aerobica-anaerobica facoltativa dell'intestino, per cui la sua presenza nell'acqua può essere considerata un indizio di contaminazione fecale. Ormai in quasi tutti i paesi si fa sempre più ricorso al parametro *E. Coli* perché è la specie più diffusa e quella più significativamente correlabile con l'incidenza di patologie gastrointestinali. Infine la *Salmonella* è un enterobattero potenzialmente presente nelle acque reflue domestiche non trattate e portatore di infezioni intestinali più o meno gravi ("salmonellosi"). La colimetria indica generalmente le tecniche di identificazione e di conteggio dei batteri in laboratorio. Queste tecniche consistono nel mettere in evidenza le specie ricercate tramite coltura in un mezzo nutriente specifico.

Il numero di coliformi presenti in un certo volume di acqua è spesso valutato secondo la tecnica della filtrazione su membrana (utilizzata durante le sperimentazioni a Pavia) in grado di trattenere le specie o il gruppo da analizzare. La membrana attraverso cui è stata filtrata l'acqua viene poi trasferita su un idoneo terreno di coltura agarizzato in piastra Petri, contenente i nutrienti necessari per lo sviluppo e la crescita dei batteri, ed incubato ad una appropriata temperatura. Da ogni singolo batterio si svilupperà una colonia ben visibile. Il conteggio di queste colonie fornirà la misura di UFC (*Unità Formanti Colonia*) relativa al campione analizzato che solitamente viene riferita ad un volume di 100 mL.

I test sono stati effettuati utilizzando membrane filtranti e diversi terreni di coltura prodotti da Crami Amafilter Group Srl e forniti da TecnoLab. A seconda del parametro e del terreno di coltura usato, cambiano i tempi di incubazione e temperatura:

- E.Coli e Coli Totali: 24 ore a 37-38°C;
- Coli Fecali: 16-24 ore a 44°C;
- Salmonella: 48 ore a 37-38°C.

Il risultato nelle piastrine sarà rappresentato da una serie di puntini colorati che andranno contati e moltiplicati per un fattore che dipende da quante diluizioni sono state effettuate nella prova. Effettuare una sola diluizione significa moltiplicare alla fine per un fattore 100, due diluizioni significa moltiplicare per 1000 e così via, in modo da riportarsi sempre all'unità di misura standard (UFC/100mL, dove UFC vuol dire "unità formanti colonia").

3.5 RISULTATI E DISCUSSIONE

3.5.1 Risultati Prima fase sperimentale in Italia – Laboratorio di Pavia (dicembre 2011 - aprile 2012)

3.5.1.1 Risultati tre piccoli impianti di fitodepurazione

La campagna di monitoraggio sull'impianto a scala pilota di fitodepurazione è durata 7 settimane, lo scopo di questa prima fase era fondamentalmente di capire il funzionamento (a livello batch) di un impianto di fitodepurazione e quindi confrontare le rese depurative di tre differenti tipologie di piante (*Carex oshimensis*, *Cyperus papyrus*, *Phragmites australis*) da poter utilizzare per la depurazione delle acque grigie. Al termine di questo periodo di monitoraggio (svolto dal giorno 5 dicembre al 19 gennaio).

In sintesi il sistema era composto da tre diversi mini-impianti di fitodepurazione indipendenti che lavoravano in parallelo (con la stessa tipologia di refluo in entrata). In questa maniera è stato possibile analizzare più approfonditamente le rese di rimozione dei principali inquinanti in relazione alle diverse piante. I principali valori dei parametri monitorati in uscita dai tre impianti si possono riassumere in tabella 3.8, dalla quale si può osservare che alcuni parametri non hanno mostrato riduzioni significative, mentre altri hanno subito una buona resa di rimozione.

Parametri		INGRESSO	Carex	Papiro	Phragmentis
Temperatura (°C)	Medio	16	16	16	16
	Minimo	15	15	15	15
	Massimo	17	17	17	17
pH	Medio	7.5	7.5	7.5	7.5
	Minimo	6.8	6.9	6.9	6.9
	Massimo	8.5	8.4	8.4	8.4
Torbidità (NTU)	Medio	121	30.6	41.3	36.1
	Minimo	64	22	29	21
	Massimo	227	41.1	49.4	57.8
Conducibilità (µS/cm)	Medio	481	809	767	733
	Minimo	421	699	562	602
	Massimo	516	952	1079	891
COD (mg/L)	Medio	12.25	177.1	171.1	181.3
	Minimo	1281	66.7	60	64
	Massimo	2200	359	330	335
BOD ₅ (mg/L)	Medio	720	65	70	105
	Minimo	550	60	55	70
	Massimo	1000	70	95	215
TN (mg/L)	Medio	19.2	5.8	8.8	7.1
	Minimo	11.6	4.05	6.45	5.27
	Massimo	24	8.04	12.2	9.69
TP (mg/L)	Medio	2.45	0.94	1.01	5.02
	Minimo	1.12	0.5	0.48	0.54
	Massimo	5.01	2.09	1.57	1.42

Tab. 3.8: Valori minimi, massimi e medi misurati trattati con i sistemi di fitodepurazione

La tabella 3.9 riporta le rese (minime, medie e massime) delle diverse tipologie vegetali.

Parametri		Carex	Papiro	Phragmentis
Abbattimento torbidità (%)	Medio	66	56.7	59.4
	Minimo	36	34	10
	Massimo	90	87	91
Abbattimento COD (%)	Medio	89.7	90	89.2
	Minimo	83	85	84
	Massimo	95	96	95
Abbattimento BOD ₅ (%)	Medio	89	90	85.5
	Minimo	89	86	78.5
	Massimo	94	94	90
Abbattimento TN (%)	Medio	69	51	58.8
	Minimo	63	20	20
	Massimo	77	70	77
Abbattimento TP (%)	Medio	58	62.6	85.5
	Minimo	52	46	22
	Massimo	68	79	78

Tab. 3.9: Rese di rimozione percentuale minime, massime e medie dei sistemi di fitodepurazione a scala di laboratorio

Dai risultati è emerso che il papiro è risultata la pianta che ha dato maggiori rese sulla matrice organica del refluo (in particolare COD e BOD₅ con rese incluse tra il 85% e il 96%) e comunque buone sul fosforo totale (con rese tra il 46% e il 79%). Inoltre è la specie, insieme al carex, che ha risentito in misura minore del clima mantenendo uno stato vegetativo attivo e in crescita.

La phragmites ha mostrato buoni risultati ma sempre leggermente inferiori alle altre due (per il COD media del 89%, il BOD₅ media del 85%, il TN mediamente del 58% e il TP mediamente del 57%). Questa situazione può essere ricondotta principalmente allo stato vegetativo a riposo in cui si trovava la pianta, che nel periodo invernale tende a rallentare il suo metabolismo e ha perdere il suo colore verde vivo. Il carex pur non essendo una pianta specifica per la fitodepurazione ha mostrato buone rese di rimozione (per il COD media del 90%, il BOD media del 89%, l'Ntot mediamente del 69% e il Ptot mediamente del 58%).

La scelta delle essenze vegetali per il secondo impianto è ricaduta sul Carex oshimensis e sul Cyperus papyrus. Mentre il papiro è una specie vegetale già molto diffusa nel campo della depurazione naturale, il Carex oshimensis con i buoni risultati ottenuti, dimostra che questa può essere utilizzata nel campo della depurazione naturale delle acque oltre che a scopo decorativo. Sicuramente un limite di questa pianta è dovuto alla poca profondità raggiunta dalle sue radici (di circa 40 cm), e quindi un suo utilizzo dovrebbe essere opportunamente abbinato ad altre piante. Ad esempio piantumando il carex in prossimità dei bordi di un eventuale impianto (dove il livello del refluo è maggiore) e posizionando altre piante dotate di apparato radicale più profondo negli altri punti.

3.5.1.2 Risultati secondo impianto di fitodepurazione

La campagna di monitoraggio sull'impianto di fitodepurazione a scala pilota è durata 8 settimane, di cui la prima settimana di monitoraggio non è stata presa in considerazione in quanto è stato necessario rimpiazzare una prima versione dell'impianto, per problemi di perdite d'acqua.

Rimpiazzato l'impianto con uno nuovo di materiale diverso e di dimensioni leggermente inferiori, è cominciata la campagna di monitoraggio che ha visto la determinazione di un numero maggiore di parametri (Coliformi fecali ed *E.coli*, SST e l'azoto nitrico e l'azoto nitros).

l'impianto a scala pilota definitivo (dopo la rottura, per perdita del primo implementato) era composto da un recipiente di plastica di dimensioni 0.8 m di lunghezza, 0.6 m di larghezza e 0.4 m di altezza. Esso è stato piantumato con 3 piante di *Cyperus papyrus* e 7 di *Carex oshimensis*, poste all'interno di un mezzo filtrante con porosità pari a $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ circa. L'impianto ha una pendenza al fondo dell'1% ed è alimentato da un serbatoio di entrata di un volume pari a 50 litri, dove l'acqua grigia in entrata resta stoccata per 3-4 ore in modo da permettere una flottazione degli olii e una sedimentazione della materia sedimentabile. La portata in ingresso era pari a 20 L/d per un tempo di permanenza pari a circa 3.5-4 d nell'intero sistema. Le acque trattate erano stoccate in una tanica da 20 litri e analizzate al quarto giorno dall'ingresso.

Qualitativamente parlando questo refluo aveva un range variabile da 494 a 1900 mg/L per il COD, da 280 a 380 mg/L per il BOD₅, da 31 a 127 NTU per la torbidità e da 7.7 a 8.9 per il pH. I valori per quanto riguarda il COD e il BOD₅, risultano inferiori rispetto ai dati presenti nelle sperimentazioni sull'impianto a scala di laboratorio. Con un rapporto COD/BOD₅ incluso tra 3.4 e 5. I valori sono riassunti nella tabella 3.10.

Parametri		Valori
Temperatura (°C)	Medio	19
	Minimo	17
	Massimo	23
Ph	Medio	8.3
	Minimo	6.9
	Massimo	8.9
Torbidità (NTU)	Medio	66
	Minimo	31
	Massimo	127
Conducibilità (µS/cm)	Medio	406
	Minimo	356
	Massimo	561
COD (mg/L)	Medio	1183
	Minimo	494
	Massimo	1900
BOD ₅ (mg/L)	Medio	328
	Minimo	280
	Massimo	380
TN (mg/L)	Medio	10.7
	Minimo	4.59
	Massimo	17

Tab. 3.10: Valori minimi, massimi e medi misurati nell'acqua grigia in ingresso ai sistemi di fitodepurazione a scala pilota

Di seguito viene riportata in tabella 3.11 i valori massimi, minimi e medi per ogni parametro analizzato e i limiti richiesti dalle normative:

	Max	Min	Medio	Venezuela (discarico e tipo 2B)	D.lgs 152/2006 (in acqua superf.)	D.M. 185/2003 (riuso irriguo)	D.lgs 152/2006 (in suolo)
SST (mg/L)	10	4	8	80	35	10	25
COD (mg/L)	162	64	117	350	125	100	100
BOD (mg/L)	30	10	20	60	25	10	20
TN (mg/L)	8	3.9	5.7	40	31.8	15	15
TP (mg/L)	1.43	0.81	1.01	10	10	2	2
E.Coli (UFC/100mL)	1300	700	900	/	5000	100	5000 (consigliato)
Coli F. (UFC/100mL)	800	450	660	1000	/	/	/

Tab. 3.11: Valori massimi, minimi e medi per ogni parametro analizzato

Dalla tabella è stato evidenziato come per lo scarico in acque superficiali sia in Venezuela che in Italia, tutti i parametri rientrano nei limiti. Solo il valore massimo del COD ottenuto durante il monitoraggio, esce di pochissimo dal limite richiesto.

Al termine dei periodi di monitoraggio i risultati hanno mostrato buone rese di rimozione per i parametri analizzati e sono stati rispettati i vari limiti per lo scarico in acque superficiali (sia normativa italiana che venezuelana). Per quanto riguarda invece il riutilizzo irriguo esso è da valutare vista la difficoltà ad un rispetto continuo dei limiti (per lo meno quelli italiani dettati dal D.M. 185/03), soprattutto per COD, BOD₅ e *E.coli*.

Per quanto riguarda la normativa relativa al riutilizzo del trattato in agricoltura, in particolare modo si hanno difficoltà con il COD (che viene superato anche dal valore medio), il BOD e gli *Escherichia Coli*, che invece risultano fortemente fuori limite. Si possono considerare le linee guida della WHO sul riutilizzo delle acque grigie per irrigazione, essa permette un limite molto ampio addirittura di 10⁵ UFC/100 mL di *E. Coli*. Utilizzando questi limiti, il riutilizzo dell'acqua grigia in agricoltura è più che accettabile con le rese depurative ottenute con questo sistema. Comunque nel caso di non voler riutilizzare l'acqua a scopo irriguo, i limiti allo scarico al suolo (da D.lgs 152/2006) sono pressoché rispettati, se non per i valori massimi ottenuti dal COD. Nella seguente tabella 3.12 si riportano le rese percentuali medie sui parametri analizzati.

	RESA
Torbidità	90%
SST	85%
BOD	93%
COD	90%
TN	50%
TP	54%
E.Coli	2.4 log unit
Coli F.	2.3 log unit

Tab. 3.12: Rese percentuali medie sui parametri analizzati

3.5.1.3 Risultati Filtro anaerobico

Il filtro anaerobico è stata la seconda scelta impiantistica per il trattamento delle acque grigie nel caso di studio. L'impianto pilota è stato costruito parallelamente al secondo impianto di fitodepurazione. Il dimensionamento è stato effettuato in modo tale da trattare una portata di circa 20 L/d con un tempo di permanenza di circa due giorni. L'avviamento è cominciato nella stessa settimana dell'impianto di fitodepurazione e le prime analisi sono cominciate circa due settimane successive. I risultati sono stati però pessimi e fin dall'inizio si è compreso un mal funzionamento del sistema. Sono comunque state effettuate alcune analisi dei principali parametri che sono riportati in tabella 3.13.

	PROVA 1		PROVA 2		PROVA 3	
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
Torbidità (NTU)	127	139	31	45	66.3	81
O.D (mg/L)	2.5	0.14	7.8	0.23	5.6	0.3
pH	7.9	8.1	7.7	8.3	8.2	8.5
Conducibilità (µS/cm)	561	820	383	713	370	820
COD	1068	>2000	1198	>2000	964	1800
BOD	240	520	220	Non rilevato	300	620

Tab. 3.13: Risultati analisi su alcuni parametri principali dal filtro anaerobico

Dalla tabella si evidenzia con chiarezza che in tutti i campionamenti si è registrato un incremento, pari a circa il doppio, dei valori quali torbidità, conducibilità, BOD₅ e COD. Questa problematica è riconducibile ad un avviamento erroneo del sistema che richiede, da letteratura (Sasse, 1998), un inoculo di fango da digestore anaerobico già ben avviato, quindi una tempistica di attesa di 3-5 mesi con portate man mano a crescere. C'è poi anche da considerare che alcuni batteri anaerobici utili per la digestione (mesofili) lavorano a temperature comprese tra i 20 e i 45 °C, ma con un intervallo ottimale di 37-41°C. Mentre per i batteri termofili vengono richieste temperature ottimali di 50-52°C (Masotti-Verlicchi, 2005). Il sistema non ha avuto nessun dispositivo per il controllo della temperatura che sarebbe stato utile per l'avviamento.

3.5.2 Risultati seconda fase sperimentale in Italia – condotta sull'impianto pilota di fitodepurazione a Pavia (agosto 2012 - ottobre 2012)

Vengono mostrati tutti i risultati e le relative considerazioni, ottenuti nel corso della seconda parte sperimentale della ricerca condotta a Pavia dell'impianto pilota di fitodepurazione nel Laboratorio di "Processi e tecnologie di trattamento di acque e rifiuti", presso il Dipartimento di Idraulica dell'Università degli Studi di Pavia:

Temperatura: I valori di temperatura ottenuti grazie alla sonda WTW Cond 3110, si sono attestati tra 20.7 - 29.3 °C, risultando all'interno del range di 18-30°C tipico di un'acqua grigia e riportato da Morel & Diener (2006).

Ossigeno disciolto e pH: Per quanto riguarda i parametri Ossigeno Disciolto (OD) e pH sono state effettuate solo due misurazioni a causa di problemi con l'ossimetro e il pHmetro. (Tabella 3.1) Tuttavia i risultati ottenuti seguono l'andamento già riscontrato nel periodo di monitoraggio seguente alla realizzazione dell'impianto di fitodepurazione. L'ossigeno disciolto diminuisce nell'effluente sia a causa del consumo di parte dell'ossigeno da parte della comunità batterica, responsabile della

degradazione del substrato operando in condizioni aerobiche, sia a causa dei processi di nitrificazione che avvengono all'interno del filtro.

DATA	ENTRATA (mg/L)	USCITA (mg/L)
26/27 Settembre	5,89	4,67
2/3 Ottobre	6,02	5,27

Tab. 3.14: Risultati delle analisi sull'Ossigeno Disciolto in entrata e in uscita dalla fitodepurazione

In Tabella 3.15 vengono invece riportate le misure di pH effettuate in ingresso e in uscita dall'impianto pilota di Pavia.

DATA	ENTRATA (mg/L)	USCITA (mg/L)
26/27 Settembre	9,5	8,06
2/3 Ottobre	9,16	8,28

Tab. 3.15: Risultati delle analisi sul pH in entrata e in uscita dalla fitodepurazione

Valori alti di pH (> 8.5) sono dovuti a non trascurabile apporto di acque grigie provenienti dalla lavatrice. I valori di Ossigeno Disciolto in uscita sono praticamente costanti discostandosi poco da quelli in ingresso all'impianto e soddisfano il rispetto dei range:

- ✓ 6-9 richiesto dalla normativa venezuelana sullo scarico di acque reflue nei corpi idrici superficiali;
- ✓ 6-9,5 per il riuso in agricoltura (D.M. 185/2003).

Conducibilità elettrica: In tabella 3.16 sono riportate le dieci misure di conducibilità, ottenute con il conduttimetro WTW Cond 3110.

DATA	ENTRATA ($\mu\text{S/cm}$)	USCITA ($\mu\text{S/cm}$)
27/28 Agosto	1350	783
29/30 Agosto	1439	1070
3/4 Settembre	2250	1148
5/6 Settembre	573 ^(*)	1370
10/11 Settembre	2523	1304
12/13 Settembre	3580	1501
17/18 Settembre	641 ^(*)	1884
19/20 Settembre	531 ^(*)	1580
26/27 Settembre	2910	1126
2/3 Ottobre	1974	1172

^(*) senza frazione di acqua grigia da lavatrice

Tab. 3.16 – Risultati delle analisi sulla conducibilità elettrica in entrata e in uscita dalla fitodepurazione

Come si può vedere dalla tabella, i valori in uscita diminuiscono da un 25% (29/30 Agosto) fino ad arrivare al 61% (penultima misura); tuttavia ci sono tre casi in cui si presenta un aumento di conducibilità in uscita, dovuto probabilmente a un rilascio di sali disciolti all'interno dell'impianto di fitodepurazione, dilavati dal flusso d'acqua entrante (5/6 Settembre, 17/18 Settembre, 19/20 Settembre). Va comunque ricordato che in tutte e dieci le misure si rispetta il limite massimo di conducibilità per un'acqua destinata ad usi agricoli, che il Decreto Ministeriale 185/2003 fissa a 3000 $\mu\text{S/cm}$. La normativa venezuelana non fissa invece alcun limite di conducibilità né sullo scarico in corpi d'acqua superficiali, né sul riutilizzo in agricoltura o irrigazione di piante.

Torbidità: Rappresenta la riduzione della trasparenza di un campione dovuta alla presenza di sostanze in sospensione. Nella figura 3.13 sono riportate le misure effettuate in laboratorio:

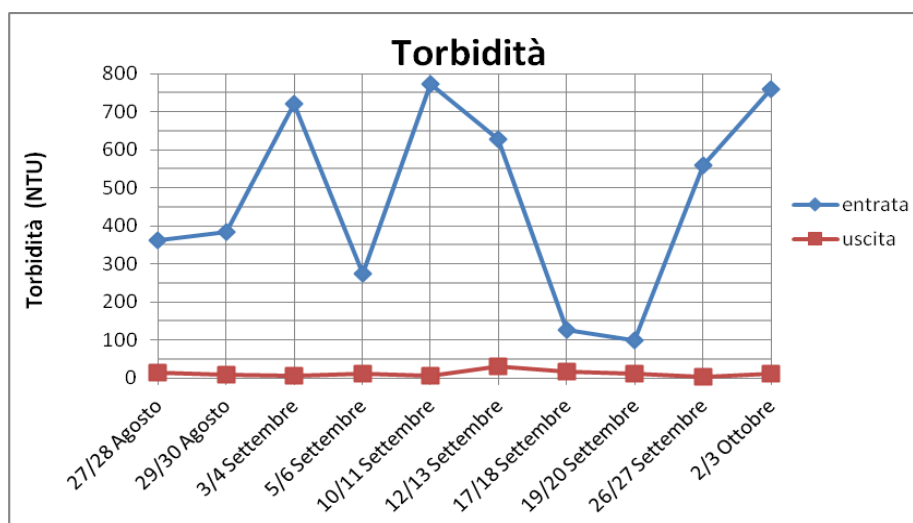


Fig. 3.13: Andamento della torbidità in entrata e in uscita

Come si può vedere dalla figura, l'azione filtrante dell'impianto di fitodepurazione garantisce una rimozione media del 95,5%. Se da una parte gli ingressi sono molto variabili in relazione alla quantità di solidi provenienti dalla cucina così come fibre, capelli e particelle sospese dal bagno, dall'altra si ottengono dei valori in uscita piuttosto costanti, registrando un valore medio di 12 NTU. A livello normativo sia in Venezuela, sia in Italia non sono stati fissati standard qualitativi in merito a questo parametro.

Solidi sospesi totali: Il contenuto di solidi sospesi in un refluo è direttamente collegato al concetto di torbidità. Purtroppo non è stato possibile definire con esattezza il contenuto di solidi sospesi in ingresso e in uscita dall'impianto pilota di fitodepurazione poiché la bilancia disponibile in laboratorio a Pavia approssimava la reale concentrazione di solidi alla cifra corrispondente al centigrammo (10^{-2} di grammo), non potendo così arrivare a definire la concentrazione di solidi sospesi in milligrammo (10^{-3} di grammo) che rappresenta l'unità di riferimento per le normative internazionali.

Per essere più chiari si riporta un esempio: quando la bilancia mostrava il valore pari a 0,02 grammi (corrispondente a 20 mg/L), si poteva soltanto stabilire il range 15-24 mg/L, non potendo quindi indicare la concentrazione effettiva all'interno del range individuato; in tabella 3.17, il valore che si troverebbe, sarebbe "< 25".

DATA	ENTRATA		USCITA	
	Valore visualizzato (g/L)	Valore corrispondente (mg/L)	Valore visualizzato (g/L)	Valore corrispondente (mg/L)
27/28 Agosto	0.03	25 ÷ 34	0.01	5 ÷ 14
29/30 Agosto	0.04	35 ÷ 44	0.01	5 ÷ 14
3/4 Settembre	0.04	35 ÷ 44	0.01	5 ÷ 14
5/6 Settembre	0.03 ^(*)	25 ÷ 34	0.00	0 ÷ 4
10/11 Settembre	0.03	25 ÷ 34	0.00	0 ÷ 4
12/13 Settembre	0.03	25 ÷ 34	0.00	0 ÷ 4
17/18 Settembre	0.00 ^(*)	0 ÷ 4	0.00	0 ÷ 4
19/20 Settembre	0.00 ^(*)	0 ÷ 4	0.00	0 ÷ 4
26/27 Settembre	0.01	5 ÷ 14	0.00	0 ÷ 4
2/3 Ottobre	0.02	15 ÷ 24	0.00	0 ÷ 4

^(*) senza frazione di acqua grigia da lavatrice

Tab. 3.17: Risultati delle analisi sugli SST in entrata e in uscita dalla fitodepurazione

Dal punto di vista normativo si può stabilire che:

- ✓ Si rispetta sempre con un ampio margine di sicurezza il limite di 80 mg/L di solidi sospesi per uno scarico in acque superficiali fissati dalle “*Normas para la clasificaciòn y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes liquidos*”, Decreto n°883, dell’11 Ottobre 1995 (Venezuela);
- ✓ Si rispettano i 150 mg/L di solidi sospesi in uscita da un impianto di fitodepurazione italiano, per uno scarico in acque superficiali, stabilito dal D.Lgs. 152/2006 (Italia)
- ✓ Non si può affermare con certezza che si rispetti anche il limite di 10 mg/L di solidi sospesi fissato dal Decreto Ministeriale 185/2003 (Italia), visto che la concentrazione potrebbe essere di 5 mg/L così come 14 mg/L, a causa dei limiti di lettura della strumentazione precedentemente descritti.

BOD₅. Le rese di rimozione variano da un minimo dell’80% a un massimo del 95%, con un valore medio dell’ 88%. In figura 3.15 viene mostrato l’andamento delle concentrazioni in ingresso e in uscita, con indicato anche il limite massimo previsto dalla normativa di riferimento venezuelana.

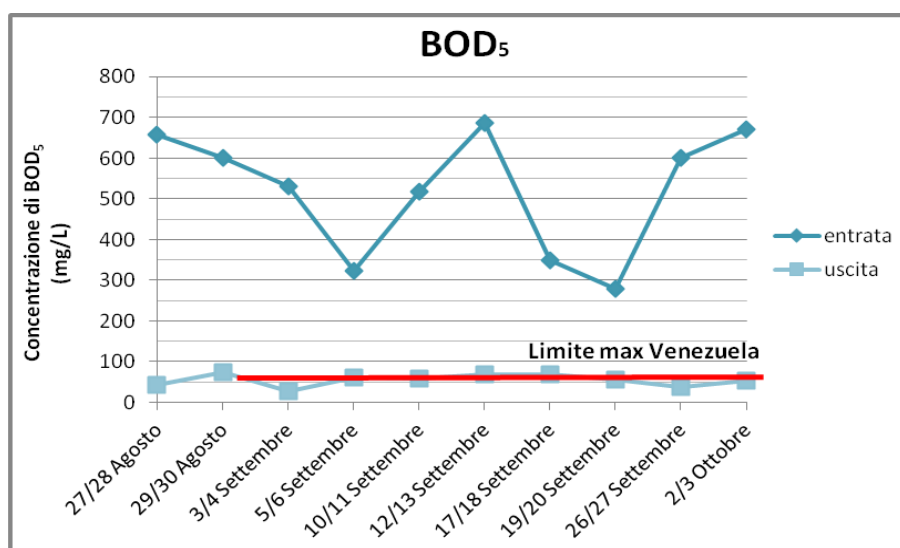


Fig. 3.14: Andamento delle concentrazioni di BOD₅ in ingresso e in uscita dall’impianto di fitodepurazione

In riferimento alla normativa venezuelana e italiana è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- ✓ In sei delle dieci analisi totali della concentrazione di BOD₅ si rispetta il limite di 60 mg/L imposto dalla normativa venezuelana per lo scarico in acque superficiali. Tuttavia ciò non è sinonimo di sicurezza in quanto in quasi tutte le analisi fatte si è di poco sotto o di poco sopra il limite massimo;
- ✓ Non si rispettano i limiti molto più rigidi imposti dal D.M. 185/2003 per il riutilizzo di acqua in agricoltura e dal D.Lgs. 152/2006 per lo scarico in acque superficiali, che sono rispettivamente di 20 mg/L e 25 mg/L.

COD: Le rese di abbattimento della concentrazione di COD variano da un minimo del 74% a un massimo del 95.6%, registrando un valor medio di 89.5%. In Figura 3.15 viene evidenziato l'andamento delle concentrazioni di COD in ingresso e in uscita nel corso del periodo di monitoraggio (27 Agosto – 3 Ottobre).

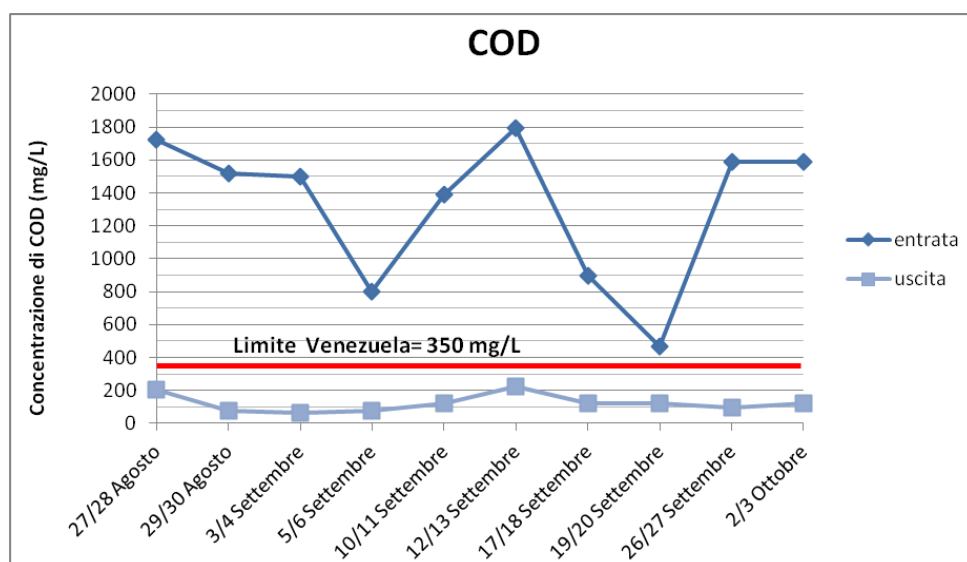


Fig. 3.15: Andamento delle concentrazioni di COD in ingresso e in uscita dalla fitodepurazione

L'andamento in uscita dall'impianto è piuttosto costante e prossimo ai 100 mg/L, tranne per due casi in cui la concentrazione è raddoppiata. La normativa venezuelana e le normative italiane stabiliscono i seguenti limiti:

- ✓ 350 mg/L di COD previsto dalle "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos", Decreto n°883, dell'11 Ottobre 1995 (Venezuela);
- ✓ 125 mg/L di COD fissato dal D.Lgs. 152/2006 per lo scarico in corpi idrici superficiali (Italia);
- ✓ 100 mg/L di COD previsto dal D.M. 185/2003 per usi dell'effluente a scopi agricoli (Italia).

Tenuto conto dei limiti normativi sopra indicati, è possibile fare le seguenti considerazioni:

- ✓ Si rispetta ampiamente in tutte le analisi lo standard qualitativo richiesto dalla normativa venezuelana;
- ✓ Si rispetta nell' 80% dei casi il limite italiano per lo scarico in acque superficiali;
- ✓ Si rispetta nel 40% delle analisi il limite italiano per il riuso dell'effluente in agricoltura.

Azoto totale (NT): Le analisi effettuate sull'azoto totale sono sette e mostrano concentrazioni che vanno dai 16.7 mg/L ai 47.2 mg/L e rese di rimozione nel range 55.3-90.2%. In figura 3.16 viene mostrato l'andamento delle concentrazioni in ingresso e uscita dall'impianto pilota.

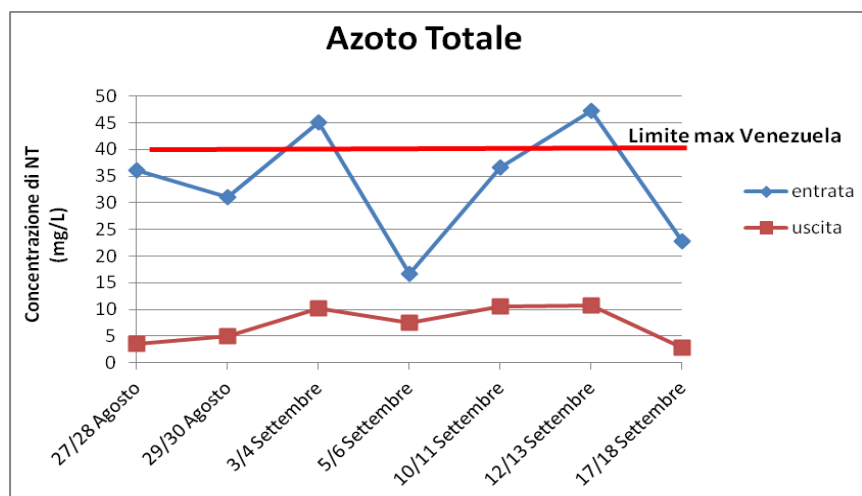


Fig. 3.16: Andamento delle concentrazioni di NT in ingresso e in uscita dalla fitodepurazione

I valori limite delle normative considerate sono:

- ✓ 40 mg/L di azoto totale secondo la normative venezuelana per lo scarico in corpi idrici superficiali;
- ✓ 15 mg/L di azoto totale scaricabile in corpi idrici superficiali, fissato dal D.Lgs. 152/2006;
- ✓ 15 mg/L di azoto totale stabilito dal D.M. 185/2003 per un riuso dell'effluente a scopi agricoli.

Per quanto riguarda l'azoto totale, non solo si rispetta ampiamente lo standard qualitativo richiesto dalla normativa venezuelana, ma anche quello massimo previsto dal Decreto Ministeriale 185/2003 per il riutilizzo in agricoltura.

Fosforo totale: Le analisi sul fosforo totale (Figura 3.17), hanno dato come risultato concentrazioni in uscita tra 0.81 e 3.04 mg/L, a fronte di concentrazioni in ingresso nel range 2.19-13.03 mg/L, e rese di rimozione nel range 16,3 % al 83,2 %.

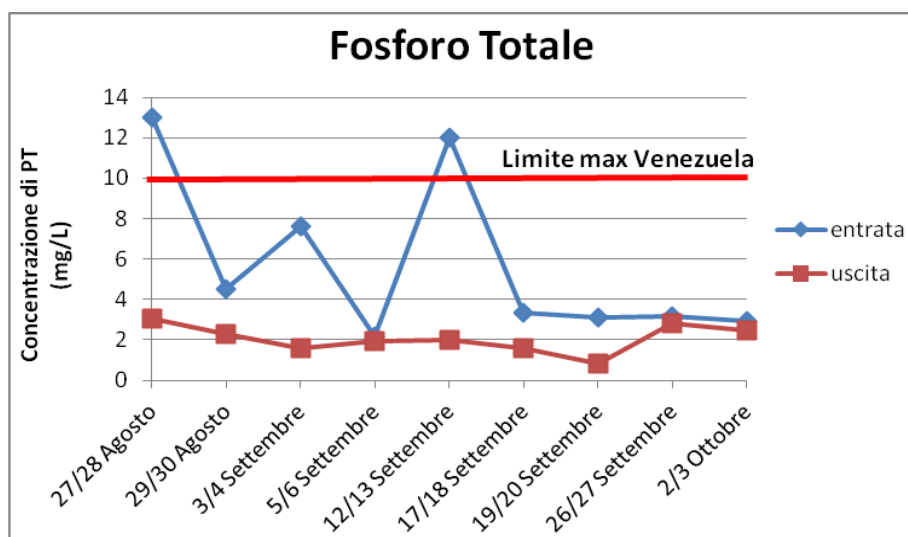


Fig. 3.17: Andamento delle concentrazioni di PT in ingresso e in uscita dalla fitodepurazione

I limiti imposti dalle normative considerate sono i seguenti:

- 10 mg/L di fosforo totale previsto dalla normativa venezuelana per lo scarico in un corpo idrico superficiale;
- 10 mg/L secondo il D.Lgs. 152/2006 per lo scarico in acque superficiali;
- 2 mg/L di fosforo totale previsti dalla normativa italiana per il riuso dell'effluente a scopi agricoli (D.M. 185/2003).

I risultati delle nove analisi sul fosforo totale sono ampiamente sotto il limite massimo richiesto dalla normativa venezuelana e quell'italiana per lo scarico in acque superficiali, mentre solo nel 50% delle analisi si rispetta lo standard qualitativo richiesto per il riutilizzo in agricoltura.

Escherichia coli: Nella figura 3.18 sono riportati i risultati delle analisi condotte. Le rese di rimozione espresse sia in logaritmo che in percentuale vanno da 1,0 - 4,5 in logaritmo e nel range 88,9-100%. Come osservato per gli altri parametri analizzati nel monitoraggio, si ha il rendimento di rimozione più basso in corrispondenza della concentrazione in entrata più bassa; escludendo infatti, il minimo di resa si avrebbe sempre un rendimento superiore a 1,7 Log (98%).

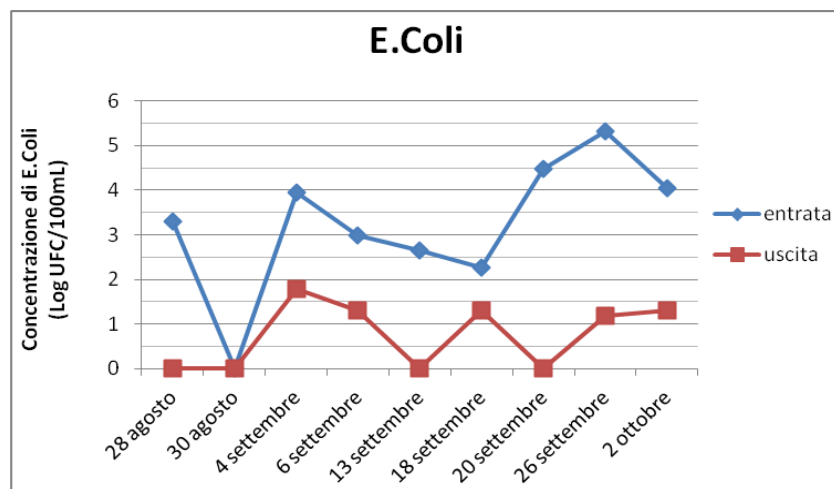


Fig. 3.18: Andamento di E.Coli in ingresso e in uscita dall'impianto pilota

I limiti sull'Escherichia Coli presenti nelle normative oggetto di studio sono:

- <1000 unità su 100 mL di campione (WHO, 2006) per il riuso delle acque grigie nella coltivazione di colture consumate crude;
- 5000 UFC/100mL per lo scarico in acque superficiali (D.Lgs. 152/2006);
- 50 UFC/100mL nell'80% dei campioni e 200 UFC/100mL come massimo puntuale, imposti dal Decreto Ministeriale 185/2003 per il riutilizzo in agricoltura dell'effluente.

Per quanto riguarda l'E.Coli tutti gli standard qualitativi richiesti dalle normative italiane e dalle linee guida del WHO sono soddisfatti. La normativa venezuelana non prevede limiti massimi sull' E.Coli. Si sottolinea il fatto che, rispetto alle tre analisi condotte sullo stesso impianto pilota durante il primo monitoraggio del mese di Marzo 2012 in cui i valori in entrata erano dello stesso ordine di grandezza e quelli in uscita non scendevano sotto 700 UFC/100mL, in questo monitoraggio i risultati sono migliorati enormemente.

Coliformi fecali: I Coliformi Fecali sono microrganismi indicatori della contaminazione fecale dell'acqua grigia. Sono stati rilevati mettendo gli opportuni terreni di coltura all'interno di un incubatore per 16-24 ore a 44°C. Nella figura 3.19 vengono riportati i risultati raccolti nel monitoraggio sull'impianto pilota a Pavia. Ciò che emerge dai dati contenuti è che si ha una concentrazione piuttosto costante (l'ordine di grandezza è sempre 10^4) e lo stesso discorso può essere fatto anche in uscita dall'impianto pilota e sui rendimenti di rimozione, tra 97,1% e 99%, che risultano molto alti e compatibili con quelli rintracciabili in letteratura.

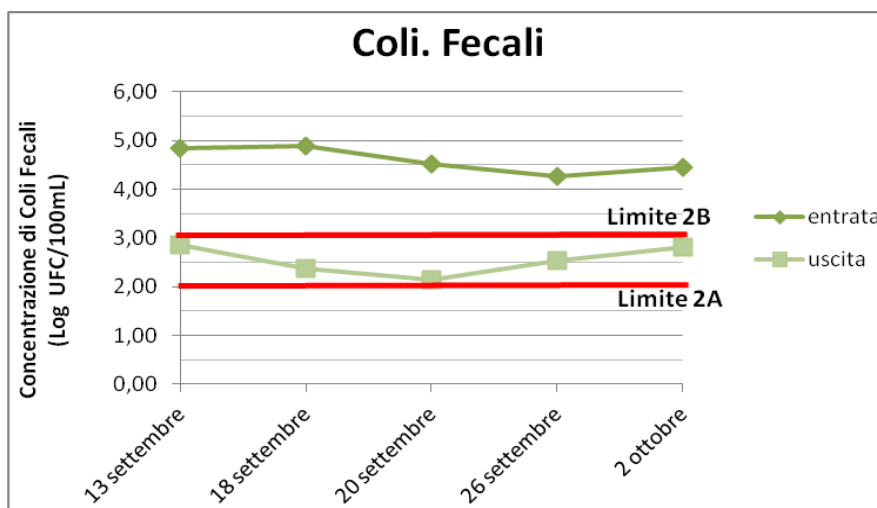


Fig. 3.19: Andamento dei Coliformi Fecali in ingresso e in uscita dall'impianto pilota

I limiti sui Coliformi Fecali sono:

- 1000 MPN/100mL richiesti dalla normativa venezuelana per lo scarico in corpi idrici superficiali e per il riutilizzo dell'effluente per l'irrigazione di piante decorative o per il bestiame (acqua di Tipo 2B);
- 100 MPN/100mL richiesti dalla normativa venezuelana per l'irrigazione di piante da cui si ricavano beni destinati al consumo umano (acqua di Tipo 2A);
- La normativa italiana non impone alcun limite sui Coliformi Fecali, ma fissa un limite sull'E.Coli, che risulta essere il Coliforme Fecale più comune e rappresentativo.

In conclusione, in base all'acqua grigia alimentata nell'impianto pilota, risulta sempre verificato il limite richiesto per le acque 2B mentre non si rispetta il limite imposto per le acque 2A.

Coliformi totali: Sono state effettuate nove analisi sui Coliformi Totali utilizzando gli stessi terreni di coltura usati per la rilevazione della presenza di Escherichia Coli (puntini blu = E.Coli; puntini rossi = Coli Totali). Le rese di rimozione sono inferiori rispetto a quelle calcolate per l'E.Coli e comprese negli intervalli 1.2-3.3 Log e 93.7-99.9%. In figura 3.20 viene mostrato l'andamento della concentrazione dei Coliformi Totali in ingresso e in uscita dall'impianto pilota di fitodepurazione.

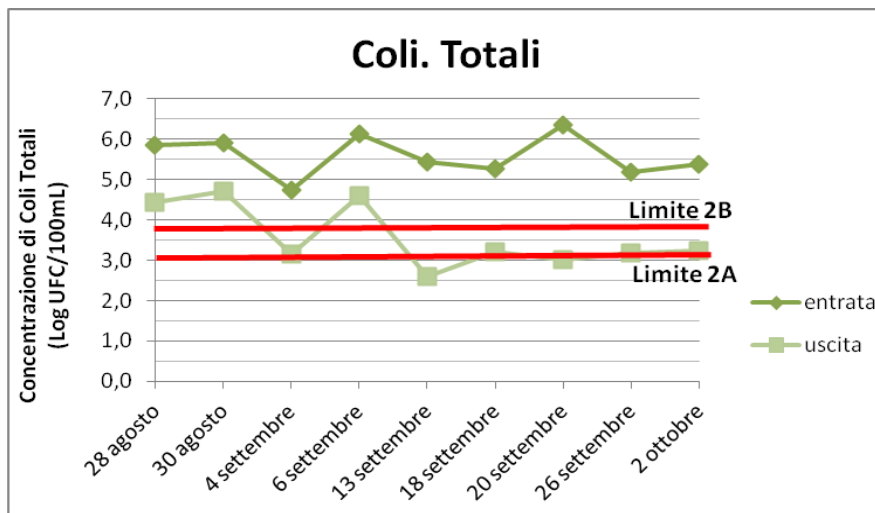


Fig. 3.20: Andamento dei Coliformi Totali in ingresso e in uscita dall'impianto pilota

I limiti sui Coliformi Totali sono:

- 1000 MPN/100mL fissato dalla normativa venezuelana per il riuso dell'effluente in agricoltura (acque del Tipo 2A);
- 5000 MPN/100mL previsto dalla normative venezuelana per il riutilizzo degli effluenti per irrigazione di piante e per il bestiame (acque del Tipo 2B);
- La normativa italiana per lo scarico in acque superficiali (D.Lgs. 152/2006) e quella per il riuso delle acque reflue in agricoltura (D.M. 185/2003) non impongono limiti sui Coliformi Totali.

L'impianto pilota di fitodepurazione è stato riattivato dopo cinque mesi in cui non era stato alimentato ed è andato a regime dopo due settimane dall'inizio del periodo di monitoraggio. Dalla terza settimana si vede chiaramente che si rispetta sempre il limite per il riuso di acque reflue per il bestiame e per l'irrigazione di piante, mentre non si rispetta il limite per il riuso di acque reflue in agricoltura. Se le caratteristiche microbiologiche dell'acqua venezuelana fossero uguali all'acqua alimentata all'impianto pilota a Pavia, il sistema non sarebbe accettabile per destinare l'effluente all'agricoltura.

Salmonella: la Salmonella è un batterio patogeno enterico che può essere introdotto attraverso una manipolazione inadeguata dei cibi nelle cucine o da acque che sono venute a contatto con feci umane a seguito di pulizie della persona.

In figura 3.21 vengono riportate le analisi effettuate sul refluo entrante e sull'effluente dell'impianto pilota di Pavia. Le concentrazioni in entrata sono molto alte, dell'ordine di 10^5 - 10^7 , mentre in uscita si riesce ad abbattere 1-2 ordini arrivando a rendimenti superiori del 99% (2.1 Log).

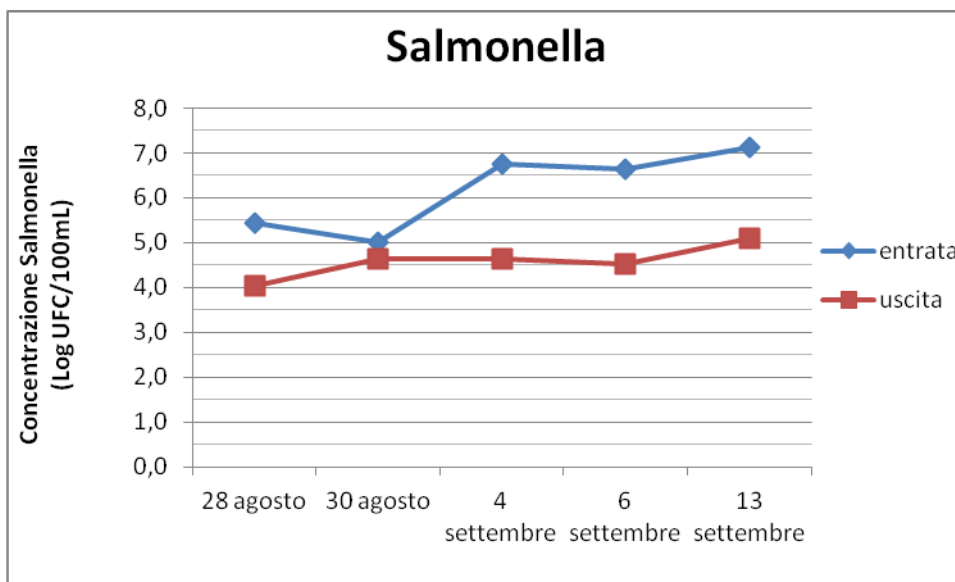


Fig. 3.21: Andamento della Salmonella in ingresso e in uscita dall'impianto pilota

La normativa venezuelana non impone limiti né allo scarico in acque superficiali né per acque reflue riutilizzate in agricoltura, irrigazione o bestiame. È il Decreto Ministeriale 185/2003 a stabilire la totale assenza di Salmonella per il riuso in agricoltura di acqua reflua uscente dal trattamento. In base a questo limite, è evidente che risulta poco praticabile la realizzazione di un impianto di questo tipo in Italia, poiché sarebbe fondamentale optare per una soluzione di trattamento o un trattamento aggiuntivo più spinto che abbatta la Salmonella, per poter usare l'effluente dell'impianto in agricoltura.

3.5.3 Confronto dei risultati ottenuti durante la prima e la seconda sperimentazione in Italia

Di seguito vengono riportate le rese di abbattimento dell'impianto pilota di fitodepurazione (tabella 3.18), testato nel Laboratorio "Processi e tecnologie di trattamento di acque e rifiuti", presso il Dipartimento di Idraulica dell'Università degli Studi di Pavia, confrontate con quelle calcolate dai risultati nel corso della prima sperimentazione sul medesimo impianto. È da sottolineare che il primo monitoraggio è stato condotto con un tempo di ritenzione idraulica (HRT) di 4 giorni, mentre nel secondo monitoraggio è stato mantenuto un HRT pari a un giorno per avvicinarsi al valore di HRT applicato in fase di dimensionamento dell'impianto di fitodepurazione venezuelano (HRT=0.8 d).

Si può apprezzare in tabella 3.18 che le rese di rimozione delle due fasi di monitoraggio sono paragonabili, mostrando miglioramenti durante le analisi del secondo monitoraggio nella rimozione di azoto totale, E.Coli e torbidità. Da ciò si intuisce che l'azione di rimozione dei parametri inquinanti analizzati avviene sostanzialmente nel primo giorno. Le rese di rimozioni sono pienamente soddisfacenti e compatibili con quelle riscontrate in bibliografia.

Parametri	PRIMO MONITORAGGIO			SECONDO MONITORAGGIO			Resa da letteratura
	Valore medio		Resa media	Valore medio		Resa media	
	IN	OUT		IN	OUT		
Torbidità	66	5.2	90%	469	12	96%	-
SST	49.7	8	85%	N.D.	N.D.	N.D.	80 ÷ 95 %
BOD ₅	328	20	93%	522	55	90%	-
COD	1183	117	90%	1328	128	90%	80 ÷ 90 %
Fosforo Totale	2.04	1.1	54%	5.8	2.1	51%	30 ÷ 45 %
Azoto Totale	10.7	5.7	50%	33.6	7.2	78%	15 ÷ 40
Coli. Totali	-	-	-	6.7*10 ⁵	1.4*10 ⁴	2.0 Log	≤ 1÷2 Log
E.Coli	2.4*10 ⁵	900	2.4 Log	2.9*10 ⁴	15	2.8 Log	~ 1.6 Log
Salmonella	-	-	-	4.7*10 ⁶	5.1*10 ⁴	1.6 Log	~ 1.6 Log
Coli Fecali	1.35*10 ⁵	660	2.3 Log	4.5*10 ⁴	418	2.0 Log	≤ 2÷3 Log

N.D. : dato non disponibile a causa di problemi con la strumentazione del laboratorio;
Coliformi totali e Salmonella non sono stati considerati nel primo monitoraggio in laboratorio.

Tab. 3.18: Confronto sull'impianto pilota di fitodepurazione in laboratorio a Pavia

L'impianto ha dato risultati più che ottimi e si può assolutamente confermare che questo sistema di depurazione naturale è un'ottima soluzione per il trattamento delle acque grigie nei PVS come nei paesi industrializzati.

Se si volesse riutilizzare quest'acqua trattata a scopi irrigui adottando limiti più restrittivi del WHO, come quelli italiani, è necessario sottoporre il refluo ad opportuni accorgimenti per la rimozione della matrice organica e microbica.

Per quanto riguarda BOD e COD, si potrebbe aumentare ulteriormente il tempo di ritenzione all'interno dell'impianto o aggiungere un sistema di filtrazione a monte o a valle della fitodepurazione che permetta un ulteriore abbattimento di questi parametri.

Per quanto riguarda la componente microbica, l'incremento del tempo di permanenza potrebbe migliorare la resa di rimozione ed ulteriori accorgimenti potrebbero prevedere un sistema di filtrazione più opportuno oppure disinfezione tramite l'utilizzo di agenti chimici (cloro) o fisici (vasche di calma).

Considerando che si tratta di un PVS, tale sistema di disinfezione aggiuntivo dovrà avere le stesse caratteristiche per cui è stata scelta la tecnologia di trattamento più adeguata. Data la forte problematica delle zanzare, l'utilizzo di bacini di calma è altamente sconsigliata a favore di utilizzo di agenti chimici o fisici poco costosi e reperibili in luogo.

3.6 CONCLUSIONI

È stata condotta una sperimentazione nel laboratorio del dipartimento di Ingegneria Idraulica della Università degli Studi di Pavia. Dai risultati è emerso che:

- ✓ Sono state individuate le piante e le condizioni di gestione ottimali. Dai risultati è emerso che le piante con le maggiori rese sono state il *Carex* e il *Papyrus*, con rese del 66% (*Carex*) e 57% (*Papyrus*) sulla turbidità; 90% sul COD (*Carex* e *Papyrus*); 90% sul BOD (*Carex* e *Papyrus*); 69% (*Carex*) e 51% (*Papyrus*) sull'azoto totale; e 63% (*Papyrus*) e 58% (*Carex*) sul fosforo totale.
- ✓ Il trattamento di fitodepurazione funziona correttamente, garantendo rese di rimozione sui principali parametri inquinanti presenti nelle acque grigie, pienamente soddisfacenti e compatibili con quelle riscontrate in bibliografia. Si può affermare, che questo sistema è appropriato al caso di studio ed esso può garantire un ottimo trattamento del refluo grigio.
- ✓ Per quanto riguarda il riutilizzo a scopo irriguo, considerando le norme italiane, non tutti i parametri sono rispettati in modo continuativo, in particolare quelli microbiologici. Rifacendosi però alle linee guida del WHO sul riutilizzo dell'acqua grigia in agricoltura, in questo caso i limiti sono accettabili, permettendo un riutilizzo del refluo trattato.
- ✓ Dai risultati della sperimentazione condotta si può concludere che viene sempre rispettato il limite imposto dalla normativa venezuelana per il riuso in irrigazione delle acque grigie trattate (acque di tipo 2B), mentre non si rispetta il limite stabilito per il riutilizzo delle acque in agricoltura (acque di tipo 2A).

SVILUPPO DEL LAVORO SPERIMENTALE IN VENEZUELA

CAPITOLO IV. COSTRUZIONE E MONITORAGGIO DI UN IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE E FILTRAZIONE ANAEROBICA

4.1 INTRODUZIONE

Il lavoro sperimentale in Venezuela per la costruzione e il monitoraggio di un impianto di fitodepurazione e un altro di filtrazione anaerobica, è stato sviluppato prendendo come riferimento la missione (fine 2010) di inquadramento territoriale e ambientale nel quartiere Moscù, a Ciudad Guayana (Venezuela) (Capitolo II) e l'esito della sperimentazione condotta nel laboratorio di Pavia (Capitolo III).

Le fasi principali del lavoro in Venezuela sono state: l'analisi per determinare il luogo più adatto alla costruzione dei sistemi di trattamento; la quantificazione della produzione di acqua grigia nella casa ospitante; il dimensionamento dei sistemi di trattamento; la loro costruzione, con il sostegno della comunità del quartiere Moscù II, del Consiglio Comunale e della sua "Mesa Tecnica de Agua"; lo sviluppo di due fasi di monitoraggio necessarie per valutare il corretto funzionamento dei sistemi progettati (sia attraverso la strumentazione portata in Venezuela, sia grazie al contributo del Laboratorio "La Salle" di San Felix, Ciudad Guayana).

4.2 DIMENSIONAMENTO DEI SISTEMI DI TRATTAMENTO

In questo paragrafo viene spiegato come sono stati dimensionati gli impianti pilota costruiti in Venezuela. Per il trattamento di fitodepurazione è stato utilizzato il metodo di dimensionamento suggerito dall'Environmental Protection Agency (EPA).

4.2.1 Impianto pilota di fitodepurazione in Venezuela

EPA (1993-1999) per la rimozione del BOD₅: Si basa nella stessa metodologia di disegno per l'impianto pilota sperimentale costruito nel laboratorio a Pavia. Dove si considera una cinetica di primo ordine e una condizione di plug-flow nella vasca. Il calcolo si sviluppa con le equazioni di seguito descritte.

La formula che descrive la cinetica plug-flow di primo ordine è:

$$\frac{C_e}{C_i} = \exp(-K_T \cdot t)$$

dove:

C_i = concentrazione di BOD₅ in ingresso al biofiltro (mg/L): $C_i = 160$ mg/L, considerando un abbattimento della trappola secondo bibliografia del 20% della concentrazione in ingresso assunta pari a 200mg/L.

C_e = concentrazione di BOD₅ in uscita (mg/L), questo valore non deve essere impostato inferiore a 5 mg/L perché questo sistema comporta un apporto di BOD₅ dovuto alla decomposizione naturale del materiale organico presente nel sistema. Valore imposto in uscita pari a 30 mg/L, inferiore al limite normativo venezuelano per lo scarico in corpi idrici superficiali di 60 mg/L.

K_T = costante dipendente dalla temperatura (d^{-1});

t = tempo di ritenzione (d).

La costante cinetica K_T (in funzione della temperatura, viene calcolata tramite la formula:

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

dove:

K_{20} = è la costante cinetica della temperatura a 20°C (d⁻¹). L'EPA suggerisce K_{20} = 1.104 (d⁻¹).

K_T = costante dipendente dalla temperatura (d⁻¹);

θ = costante. L'EPA suggerisce $\theta = 1.06$;

T = temperatura del liquido nel sistema (°C). Valore misurato in loco pari a 30°C.

Il tempo di ritenzione effettivo (che considera il tempo di ritenzione del mezzo filtrante) (t), viene ricavato dalla seguente formula:

$$t = \frac{n \cdot L \cdot W \cdot d}{Q}$$

dove:

n = porosità del letto, imposta pari a 0.35;

W = larghezza del letto (m). Incognita;

d = profondità del letto (m), pari a 0.8 m;

L = lunghezza del letto (m). Incognita;

Q = portata media che attraversa il sistema (m³/d), pari a 0.376 m³/d e risultante da un'intervista ai proprietari della casa venezuelana ospitante gli impianti pilota.

Unendo le formule sopraindicate si ottiene la formula seguente:

$$A = L \cdot W = \frac{Q \cdot (\ln C_i - \ln C_e)}{n \cdot K_T \cdot 0.95 \cdot d}$$

Il coefficiente 0.95 è un fattore di sicurezza richiesto. Inserendo i valori propri dell'impianto venezuelano, si giunge al valore della superficie richiesta: $A_s = L \cdot W = 1.012 \text{ m}^2$

Il tempo di ritenzione idraulica ($t = \text{HRT}$) risulta pari a 0.754 d.

Dalla misura della superficie e determinata l'altezza del filtro (di solito da 0.4-0.8 m), si trova facilmente il volume dell'impianto. Si effettua poi una verifica del dimensionamento:

$$\text{Volume del sistema: } V = Q \cdot t = 0.376 \text{ (m}^3/\text{d)} \cdot 0.754 \text{ (d)} = 0.284 \text{ m}^3$$

dove:

Q = portata di dimensionamento (m³/d)

t = tempo di ritenzione calcolato (d)

Verifica dell'area superficiale:

$$A_s = V / (d \cdot n)$$

dove:

A_s = area superficiale (m²)

d = altezza dell'impianto (m);

n = porosità del sistema (%)

Calcolo delle dimensioni principali considerando accettabili rapporti lunghezza : larghezza pari a 0.4:1, fino a 3:1. È stato assegnato un rapporto $L : W = 3 : 1$, ottenendo come misure: $L = 1.742 \text{ m}$; $W = 0.581 \text{ m}$. queste dimensioni sono

provvisorie, in quanto si dovrà sommare ad esse le misure scaturite dal calcolo per la rimozione dell'azoto, trattato successivamente.

Verifica del funzionamento idraulico tramite la formula di Darcy

$$Q_{darcy} = K_s * A_p * S$$

dove:

Q_{darcy} = portata media che attraversa il sistema (m^3/d). incognita;

A_p = area totale della sezione perpendicolare al flusso (m^2). $A_p = W * d = 0.46 m^2$;

S = gradiente idraulico (m/m)

K_s = conducibilità idraulica del sistema filtrante perpendicolarmente al flusso ($m^3/m^2/d$), reperita dal manuale EPA in base al terreno posto nel biofiltro. $K_s = 1 * 10^{-5} m/s = 0.864 m/d$.

Se la Q_{darcy} risulta essere inferiore alla Q di dimensionamento, allora il sistema risulta essere verificato. Altrimenti è necessario controllare i valori della concentrazione di BOD utilizzati nella prima formula.

$$Q_{darcy} = 0.0369 m^3/d < Q_{dim} = 0.376 m^3/d \rightarrow \underline{OK}$$

EPA (1993-1999) per la rimozione dell'azoto: Il processo di calcolo è simili al sviluppato nel capito III, per la sperimentazione in Italia. Dove il calcolo si basa sulla quantità di ossigeno disponibile e quello richiesto nel processo di nitrificazione. La quantità di ossigeno disponibile si calcola come segue:

$$O_{2 \text{ disp}} = \text{“root depth”} * \text{“available oxygen”}$$

dove:

“root depth”= profondità delle radici (m);

“available oxygen”= ossigeno prodotto dalle diverse piante ($g/m^3 d$).

Nel nostro caso avremo:

$$O_{2 \text{ disp}} = 0.7 (m) * 7,5 (g/m^3 d) = 5.25 (g/m^2 d)$$

Prendendo per il parametro che rappresenta la profondità delle radici un valore da letteratura, mentre per il parametro rappresentante della quantità di ossigeno disponibile, è stato preso il valore medio fornito dall'EPA. L'ossigeno richiesto viene calcolato come:

$$O_{2 \text{ req}} = (NH_{4in}^+ - NH_{4out}^+) * Q * 5$$

dove:

NH_{4in}^+ = azoto ammoniacale in ingresso (mg/L)

NH_{4out}^+ = azoto ammoniacale in uscita (mg/L)

Q = portata (m^3/d)

5 = rappresenta i mg di O_2 necessari per ossidare 1 mg di NH_4^+

Inserendo i valori numerici avremo: $O_{2 \text{ req}} = (5 - 2) * 0.376 * 5 = 5.64 g/d$

L'area necessaria per la nitrificazione sarà data semplicemente da:

$$A_{nitr} = O_{2 \text{ req}} / O_{2 \text{ disp}} = 5.64 (g/d) / 5.25 (g/m^2 d) = 1.074 m^2$$

Questo valore sarà da aggiungere all'area richiesta per la rimozione del BOD, come descritto in precedenza.

$$A_{tot} = A_s + A_{nitr} = 1.012 + 1.074 = 2.086 m^2$$

Mantenendo sempre il rapporti lunghezza/larghezza pari a 3/1, le dimensioni definitive del comparto di fitodepurazione costruito in Venezuela, risultano pari a $L = 2.6 \text{ m}$; $W = 0.9 \text{ m}$.

4.2.2 Impianto pilota di filtrazione anaerobica in Venezuela

Come filtro anaerobico è stato utilizzato un serbatoio di forma cilindrica da 120 litri. Il dimensionamento è stato effettuato seguendo quelli che sono i consigli nel capitolo III. E' stato scelto un tempo di ritenzione di circa 1 giorni che, dovrebbe garantire un abbattimento sul COD attorno al 75%. Questi valori sono relativi a un carico di COD in entrata attorno a 1500 mg/L e una temperatura di 30 °C. Dato che il carico di COD in nel sistema è sempre attorno ai 1000-1200 mg/L e la temperatura tra 30°C.

Il volume è stato misurato con la semplice formula:

$$V = \text{HRT} * \text{IN}_{\text{flow}}$$

dove:

HRT= tempo di ritenzione idraulica (d)

IN_{flow} = portata in entrata (m^3/d)

Con un volume di 113 (L/giorno) di refluo da trattare, uguale al 20% della portata di disegno (564 L/giorno), così da potere utilizzare i contenitori da 120 L che è stato reperito.

Con questi valori, il volume richiesto è di:

$$V = 1 \text{ d} * 0.113 \text{ m}^3/\text{d} = 0.113 \text{ m}^3 = 113 \text{ L}$$

Per verificare l'impianto è stata utilizzata la seguente formula:

$$C_{\text{max}} = \text{COD}_{\text{in}} * \text{IN}_{\text{flow}} / (V * n)$$

Dove:

C_{max} = carico organico (COD) massimo ($\text{kg} / \text{m}^3 * \text{d}$)

COD_{in} = concentrazione di COD in entrata al sistema (kg / m^3)

IN_{flow} = portata in ingresso al sistema (m^3/d)

V = volume (m^3)

n = porosità specifica (m^3/m^3)

Nel caso sperimentale è stato posto il volume calcolato, la portata scelta e la porosità del mezzo filtrante (stimata a 0.35). Per la concentrazione di COD in entrata, invece, è stata scelta la media misurata del monitoraggio in Venezuela. COD pari medio a 1000 mg/L. Con questi valori è risultato un carico organico pari a:

$$C_{\text{max}} = 2.86 \text{ kg} / \text{m}^3 * \text{d}$$

Tale valore risulta inferiore ai 5 $\text{kg} / \text{m}^3 * \text{d}$ e quindi l'impianto risulta verificato.

4.3 MATERIALI E METODI

Le fasi principali caratterizzanti il lavoro in Venezuela sono di seguito riportate:

- Analisi per determinare il luogo più adatto alla costruzione dei sistemi di trattamento: sono state effettuate prove preliminari di infiltrazione facendo riferimento al manuale CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente);

- Quantificazione della produzione di acqua grigia nella casa ospitante i sistemi di trattamento;
- Dimensionamento dei sistemi di trattamento;
- Applicazione delle raccomandazioni e accorgimenti sorte dalla sperimentazione nel laboratorio di Pavia;
- Applicazione dei manuali di disegno e funzionamento dei sistemi di trattamento di acque grigie;
- Costruzione dei sistemi sperimentali, con l'appoggio della comunità del quartiere Moscù, del Consiglio Comunale e della sua "Mesa Tecnica de Agua";
- Impostazione del piano di monitoraggio dei parametri fisici, chimici e microbiologici più rilevanti necessari per valutare il corretto funzionamento dei sistemi progettati, sia attraverso la strumentazione portata apposta in Venezuela, sia grazie all'appoggio del Laboratorio La Salle di San Felix.

4.3.1 Produzione di acque grigie

La produzione di acque grigie (acque provenienti dalla cucina, dalla lavatrice e dal bagno, ad eccezione dell'acqua nera del wc) nella casa ospitante gli impianti pilota, è stata stimata a partire da un'indagine realizzata a fine 2010. In tabella 4.1 vengono riportate le caratteristiche quantitative teoriche dell'acqua grigia in Venezuela, desunte a seguito di una ricerca bibliografica (nella colonna "Quantità teorica") e le caratteristiche quantitative reali emerse dal sondaggio presso la famiglia considerata. Nella colonna riguardante i dati letterari, con "famiglia" si intende un aggregato di nove persone.

PARAMETRO	QUANTITA' TEORICA	QUANTITA' REALE	UNITA' DI MISURA
Consumo di acqua potabile in Venezuela	230	-	L/(ab*d)
Produzione di acque grigie in Venezuela (75% dell'acqua potabile)	172.5	-	L/(ab*d)
Totale di acque grigie	690	376	L/(famiglia*d)
Cucina	138	75	L/(famiglia*d)
Doccia	184	124	L/(famiglia*d)
Lavatrice / lavaggio panni	147,2	102	L/(famiglia*d)
Lavandino bagno / pulizia casa	138	75	L/(famiglia*d)
Portata massima di acque grigie per la famiglia	690	376	L/d
	0,69	0,376	m ³ /d
Portata media di acque grigie per la famiglia	0,029	0,016	m ³ /h
Portata media di acque grigie per la famiglia (parametro di disegno)*	0,044	0,024	m ³ /h

(*questo dato si riferisce alla portata media di acqua grigia incrementata di un fattore 1,5 per avere un buon franco di sicurezza in fase di dimensionamento.)

Tab. 4.1: Caratteristiche quantitative in Venezuela

La figura 4.1 mostra l'andamento tipico della produzione di acqua grigia, vista come somma delle diverse frazioni uscenti dalla casa, durante un giorno "lavorativo" (da lunedì a venerdì).

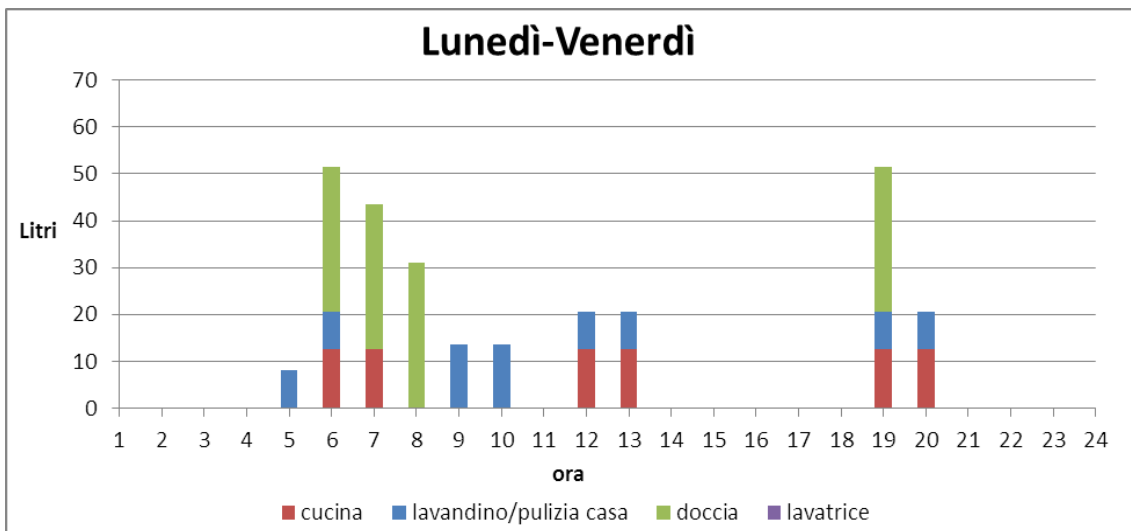


Fig. 4.1: Andamento tipico della produzione di acqua grigia in un giorno lavorativo (da lunedì a venerdì)

In figura 4.2 viene invece mostrato l'andamento orario della produzione di acqua grigia, che risulta differente rispetto al precedente per quanto riguarda la frazione proveniente dal lavaggio degli indumenti con la lavatrice e a mano. Grazie all'intervista alla signora di casa è emerso che lei e le figlie maggiori si dedicano al lavaggio dei panni solitamente al sabato mattina o al massimo la domenica mattina.

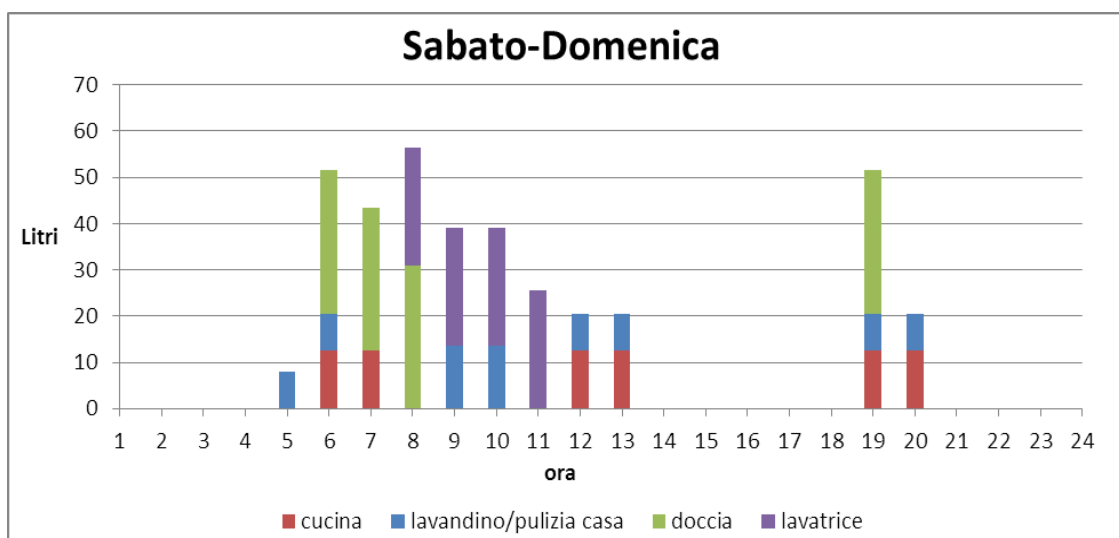


Fig. 4.2: Andamento tipico della produzione di acqua grigia in un giorno di fine settimana

4.3.2 Prove di infiltrazione

Per evitare che l'acqua in eccesso, nonostante venga prima trattata, possa ristagnare sulla strada creando l'habitat naturale per la proliferazione di insetti, si è deciso di prevedere un sistema di infiltrazione nel suolo. Ciò è possibile grazie alla distanza della falda sotterranea che costantemente si mantiene a 2 metri minimo dal piano campagna, assicurando un franco di sicurezza di 1-1,2 metri di interspazio rispetto al fondo della tubazione drenante consigliato da Masotti e Verlicchi (2005).

Dopo aver individuato la famiglia che ha dato la disponibilità alla realizzazione dei sistemi pilota nella sua proprietà, sono state fatte delle prove di infiltrazione, per valutare la zona di terreno che garantisca la velocità di infiltrazione più alta

dell'effluente in eccesso. Per fare questo tipo di prove sono state considerate tre zone circostanti la proprietà della famiglia e, per ognuna di esse, è stato realizzato un buco approssimativamente quadrato (30 x 30 cm) di profondità pari a 90 cm, con 5 cm di pietra e sabbia grossolana sul fondo, così come richiede la procedura CEPIS. Si deve aggiungere poi acqua pulita fino ad ottenere un'altezza minima di 30 cm, sopra lo strato di pietra e sabbia, che dovrà essere mantenuta per quattro ore o, se possibile, tutta la notte (~12 ore).

Secondo la metodologia, queste prove devono essere realizzate 24 ore dopo aver aggiunto acqua, in modo da andare a vantaggio di sicurezza, poiché si simula l'infiltrazione dell'effluente durante un giorno piovoso in un terreno che quindi risulta più vicino alla saturazione.

Passate le 24 ore si aggiunge acqua fino ad ottenere un'altezza di 15 cm sullo strato di pietra e sabbia al fondo, misurando poi con un metro infisso nel buco, il livello discendente di acqua nei successivi 30 minuti, annotando il valore ogni 5 minuti. Il tasso di infiltrazione si calcola a partire dagli ultimi due dati osservati nell'ultimo passo temporale dei 30 minuti complessivi e si determina mediante la seguente formula:

$$Q = 315.5 \times (h/t)^{1/2}$$

Dove:

Q : Tasso di infiltrazione in L/(m²*giorno);

h : discesa del livello di acqua durante la prova, espresso in millimetri;

t : tempo richiesto per la discesa del livello, espresso in secondi.

I terreni si classificheranno, d'accordo ai risultati della prova, in:

- rapidi: se il tempo per infiltrare 5 cm è minore di 10 minuti;
- medi: se il tempo per infiltrare 5 cm è compreso tra 10-30 minuti;
- lenti: se il tempo per infiltrare 5 cm è compreso tra 30-60 minuti.

Il tipo di suolo presente nel quartiere si chiama **Ultisoles** che d'accordo a Salinas e Valencia (1983), il tasso di infiltrazione è: minima 7,52 (cm/ora) e massima: 24,05 (cm/ora). In base alle prove fatte, i tassi di infiltrazioni si discostano poco tra loro, facendo. Come risultato si considera che il terreno filtra rapido. Il terreno filtra a una velocità di 0,01L/sec = 36 L/ora.

4.3.3 Costruzione dei sistemi di trattamento

In questo paragrafo verranno descritte dettagliatamente le metodiche per la costruzione degli impianti pilota nel quartiere di Moscù. In figura 4.3 viene riportato lo schema generale del sistema di fitodepurazione a flusso orizzontale e del filtro anaerobico a flusso ascendente, e in figura 4.4 una immagine della costruzione ultimata. Le dimensioni effettive degli impianti costruiti saranno riportate successivamente quando verranno trattati separatamente i vari step di trattamento. Si possono distinguere cinque fasi:

- ✓ La fase A che rappresenta l'arrivo delle acque grigie dalle diverse attività tenutasi all'interno della casa;
- ✓ La fase B rappresenta il trattamento primario che mira sia alla separazione per flottazione di oli, grassi, sia alla separazione per sedimentazione dei solidi sedimentabili;

- ✓ La fase C è costituita dai due sistemi di trattamento secondario in parallelo;
- ✓ La fase D è rappresentata da un pozzetto di accumulo che permette alla famiglia di prelevare l'acqua depurata e impiegarla a scopi irrigui;
- ✓ La fase E è costituita dal sistema di infiltrazione che permette di infiltrare l'acqua depurata che non è stata riutilizzata dalla famiglia, evitando che essa si accumuli e ristagni sulle strade e provocando i disagi sociali e sanitari;

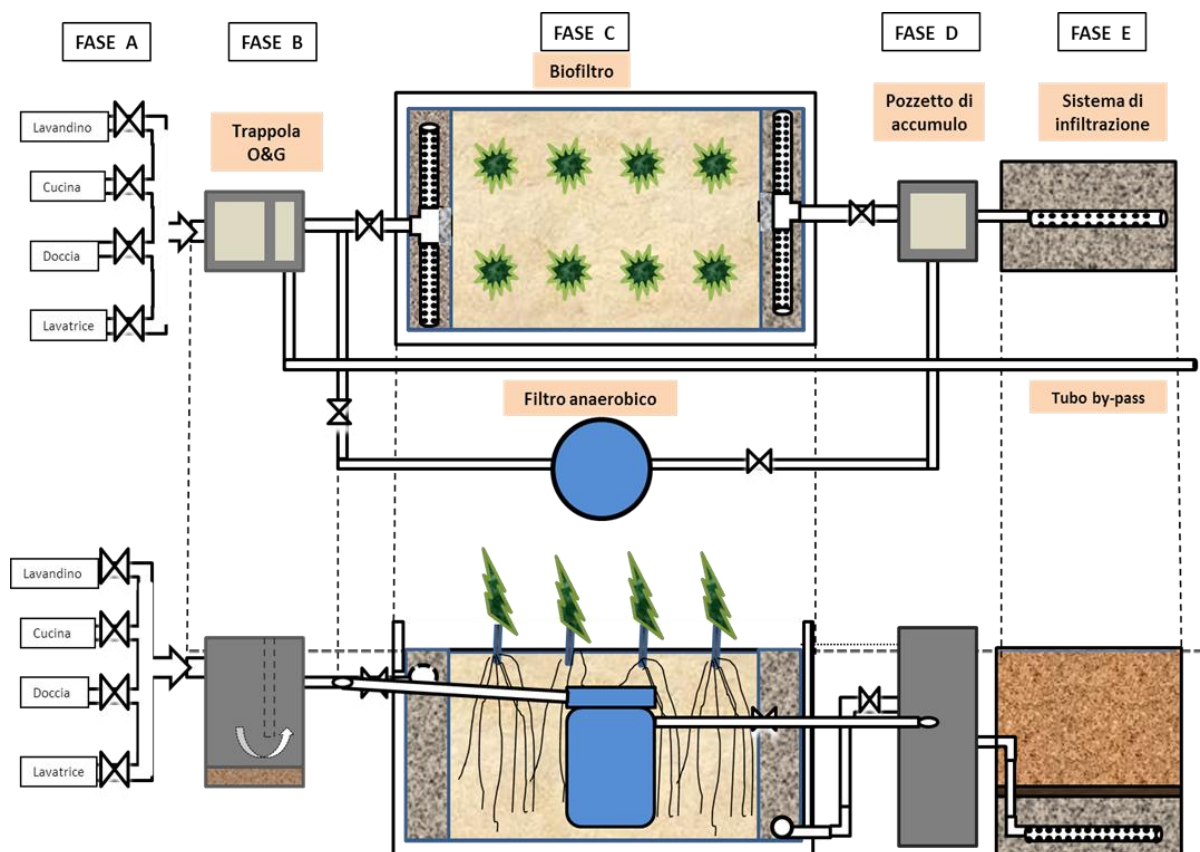


Fig. 4.3: Schema delle fasi di trattamento costruite in Venezuela



Fig. 4.4: Foto a costruzione ultimata (Aprile 2012)

TRAPPOLA OLI E GRASSI: Questo trattamento di flottazione/sedimentazione è stato realizzato utilizzando delle forme in legno che sono state inserite all'interno di una buca precedentemente scavata, gettando cemento e aspettando che facesse presa sul fondo e sulle pareti prima di estrarre poco alla volta le casse di legno. L'uscita dalla trappola è stata realizzata con un tubo da due pollici, che permette di convogliare le acque grigie ai sistemi di trattamento; questa è sottostante alla tubazione da quattro pollici che originariamente scaricava le acque sulla strada e che ora è stata rimpiegata come tubo di troppo pieno. (Figure dalla 4.5 alla 4.10).

Nell'ultima settimana di monitoraggio è stata realizzata una maglia protettiva per i sistemi di valle di forma cilindrica che, inserita nella prima vasca di accumulo, permette di trattenere materiale di granulometria più piccola e allo stesso tempo facilitare le operazioni di pulizia della trappola: estraendo la maglia ogni 15 giorni e lavandola con l'acqua si esporta il materiale depositato, senza dover inserire le mani nella trappola colma di acque grigie, evitando così una pulizia sicuramente meno gradita che col tempo sarebbe probabilmente trascurata dalla famiglia.

In tabella 4.2 vengono riportate le caratteristiche geometriche e operative della trappola oli e grassi.

PARAMETRI DI DISEGNO DELLA TRAPPOLA OLI E GRASSI			
	Area (cm)	Profondità (cm)	Volume (m ³)
Primo accumulo	30 x 30	42	0.0378
Secondo accumulo	15 x 30	42	0.0189
Setto separatore (cemento)	5 x 30	20	0.0033 *
Volume Totale = 0.0378 + 0.0189 + 0.0033 = 0.06 m ³ = 60 litri			
HRT = Volume Totale / Portata di disegno = 0.06 (m ³) / 0.0235 (m ³ /h) = 2,55 h			

*questo volume si riferisce al volume disponibile sotto al setto separatore in cemento e occupato dall'acqua grigia passando dal primo al secondo accumulo.

Tab. 4.2: Parametri di disegno della trappola oli e grassi



Fig. 4.5: Trappola oli e grassi



Fig. 4.6: Grassi e oli sulle pareti della trappola



Fig. 4.7: Entrata Trappola



Fig. 4.8: Uscita Trappola e più sopra il tubo di by-pass



Fig. 4.9: Inserimento maglia ritenitrice



Fig. 4.10: Materiale trattenuto dalla maglia

IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE: In Figura 4.11 viene riportata la pianta e la sezione del trattamento di fitodepurazione a flusso orizzontale. L'acqua in uscita dalla trappola oli e grassi viene convogliata grazie ad una tubazione da due pollici in PVC regolata da una valvola, in un tubo forato in sommità dell'impianto di fitodepurazione (Figura 4.17, visibile soltanto spostando il materiale sovrastante), per essere distribuita uniformemente e non creare solo poche vie di flusso preferenziali; lo stesso principio di uso di un tubo forato è stato ripreso in uscita, dove però cambia il posizionamento del tubo che risulta essere collocato sul fondo per captare meglio tutte le acque contenute nel filtro.

Essendo un sistema di infiltrazione a flusso subsuperficiale, l'acqua rimane sempre 10 cm minimo dalla superficie di contatto con l'atmosfera. Prima dell'inserimento del mezzo di riempimento, va prestata molta attenzione alla stesura dei teli impermeabili su fondo e pareti (Figura 4.14) per evitare perdite d'acqua. Sono stati messi tre teli che poi sono stati fissati a piano campagna all'interno del muretto di cemento (Figura 4.16).

Il terreno di riempimento (Figura 4.15) è composto da due zone in pietra grossolana in corrispondenza dell'entrata e dell'uscita dal comparto per facilitare lo scorrimento delle acque, e da una zona centrale riempita con sabbia in cui sono state inserite, insieme ad un po' di terreno per far attecchire meglio le radici, 8 piante di papiro e 8 piante della famiglia carex comprate in un vivaio in città (Figura 4.18). Infine è stata realizzata una protezione intorno al sistema per evitare che i cani andassero a refrigerarsi tra le piante del fitodepuratore (Figura 4.19).

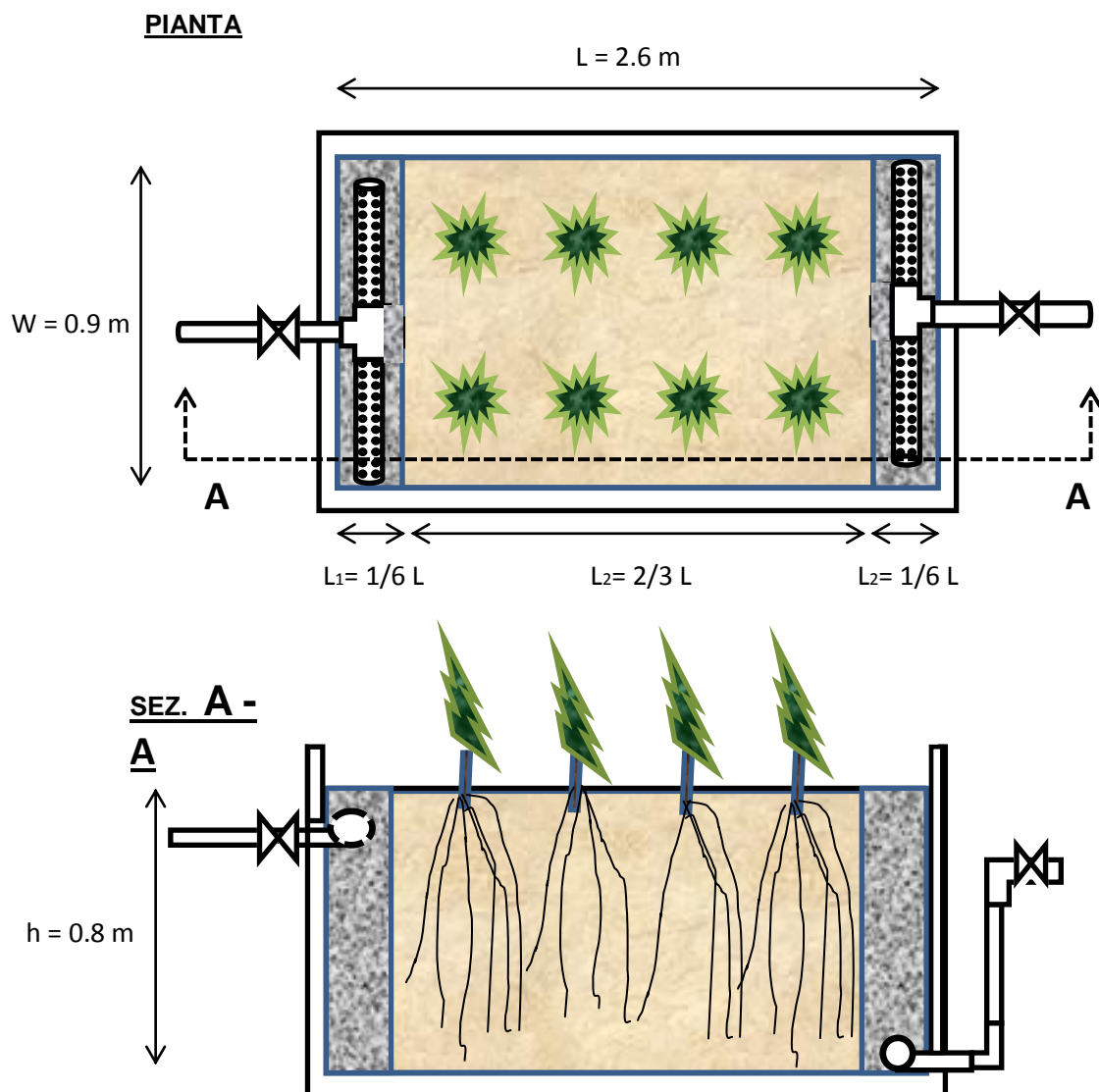


Fig. 4.11: Caratteristiche geometriche dell'impianto di fitodepurazione

Di seguito vengono riportate alcune foto scattate durante la costruzione del sistema.



Fig. 4.12 Scavo e tubazione originaria



Fig. 4.13 Realizzazione del by-pass



Fig. 4.14 Impermeabilizzazione



Fig. 4.15 Inserimento del materiale filtrante



Fig. 4.16 Impermeabilizzazione fissata



Fig. 4.17 Tubo forato in entrata al fitodepuratore



Fig. 4.18: Inserimento delle piante



Fig. 4.19: Realizzazione di una protezione al filtro

FILTRO ANAEROBICO UPFLOW : In parallelo al trattamento di fitodepurazione, è stato realizzato un filtro anaerobico a basso costo a scopo di ricerca: si è voluto valutare l'efficacia di questo sistema sull'abbattimento dei vari parametri considerati nella sperimentazione; esso rappresenta un sistema che è comunemente usato in altri Paesi in Via di Sviluppo utilizzando dei semplici serbatoi di capacità limitata. Figure 4.20 alla 4.26.

Il serbatoio da 120 litri (Fig. 4.21) è stato inserito all'interno di un buco appositamente scavato e collegato attraverso tubazioni in PVC da due pollici, regolate in ingresso e in uscita da una valvola ciascuna, alla tubazione uscente dalla trappola e al pozzetto d'accumulo in uscita.

Come si può apprezzare in Fig. 4.23 e 4.24, è stato infilato un tubo giallo nella parte superiore del serbatoio fino ad arrivare circa 5 -10 centimetri dal fondo: ciò è stato fatto per permettere all'acqua grigia di risalire dal basso verso l'alto all'interno del filtro, depurandosi sia grazie alla azione meccanica del mezzo filtrante (pietra e sabbia), sia grazie all'azione degradativa operata dalla pellicola biologica adesa al materiale di riempimento, fuoriuscendo infine attraverso una tubazione posta più in basso rispetto a quella di entrata, per evitare fenomeni di rigurgito.

Sopra lo strato in sabbia è stato lasciato uno spazio di 10 cm per l'accumulo di acqua depurata, e più sopra ancora altri 10 cm per l'accumulo di biogas. Per limitare la manutenzione da parte della famiglia e per diminuire l'odore sgradevole dell'acqua in uscita riscontrata soprattutto durante le prime analisi di monitoraggio, si è deciso di inserire un tubo di piccolo diametro per evacuare il biogas prodotto dalla digestione anaerobica (Figura 4.26).

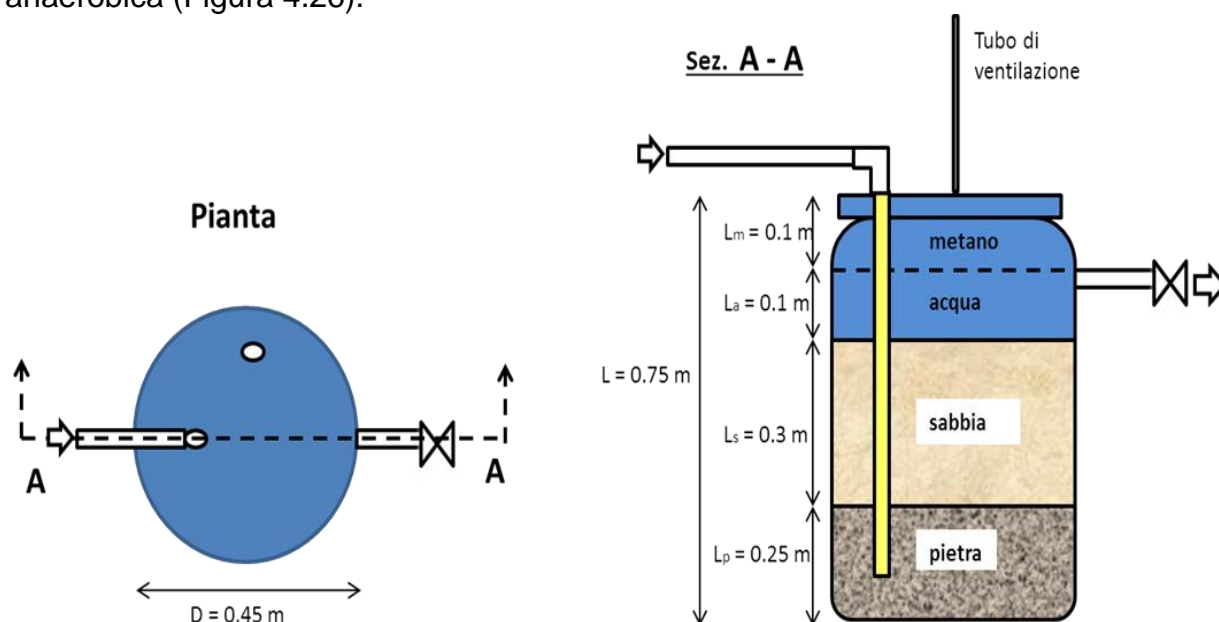


Fig. 4.20: Caratteristiche geometriche del filtro anaerobico



Fig. 4.21 Serbatoio da 120 Litri



Fig. 4.22 Filtro anaerobico in parallelo al fitodepuratore



Fig. 4.23: Strato inferiore (pietra)



Fig. 4.24: Strato superiore (sabbia)

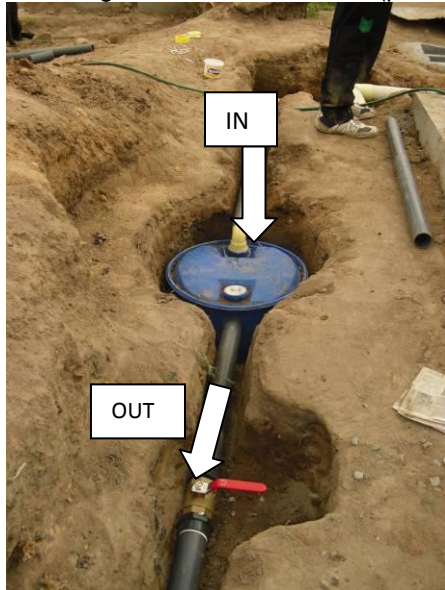


Fig. 4.25: Entrata e uscita dal filtro anaerobico



Fig. 4.26: Tubicino di allontanamento biogas

POZZETTO D'ACCUMULO IN USCITA: È stato costruito un pozzetto in uscita ai trattamenti di fitodepurazione e degradazione anaerobica per accumulare l'acqua trattata e renderla disponibile ad esempio per irrigare piante o per le pulizie della casa. Figure 4.27 alla 4.30.

Per la realizzazione del pozzetto si è utilizzato lo stesso principio di costruzione della trappola oli e grassi, ovvero un parallelepipedo in legno che è stato inserito all'interno dello scavo nel terreno e ha permesso di gettare cemento sul fondo e sulle pareti per darne una forma duratura e consolidata. Il pozzetto di accumulo, di superficie netta di 0,3 m x 0,3 m, ha un'altezza utile di 0,8 m. Il volume del pozzetto è di circa 72 litri, raggiunti i quali il pelo libero dell'acqua arriva al livello dell'intradosso della tubazione che convoglia le acque trattate inutilizzate al sistema di infiltrazione. Le tubazioni uscenti dal fitodepuratore e dal filtro anaerobico si trovano ad un'altezza superiore rispetto all'estradosso della tubazione di infiltrazione, per evitare rigurgiti del sistema.



Fig. 4.27: Operazioni di scavo

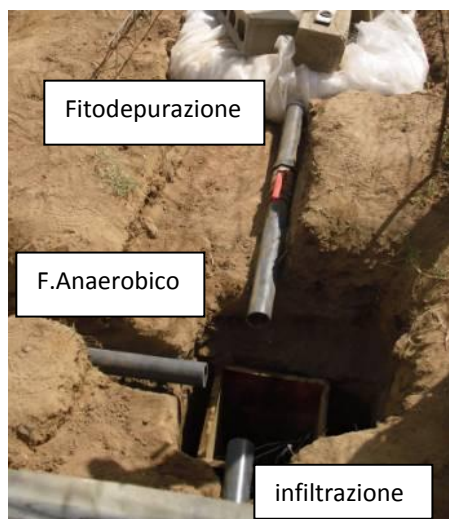


Fig. 4.28: Tubazioni entranti ed uscenti

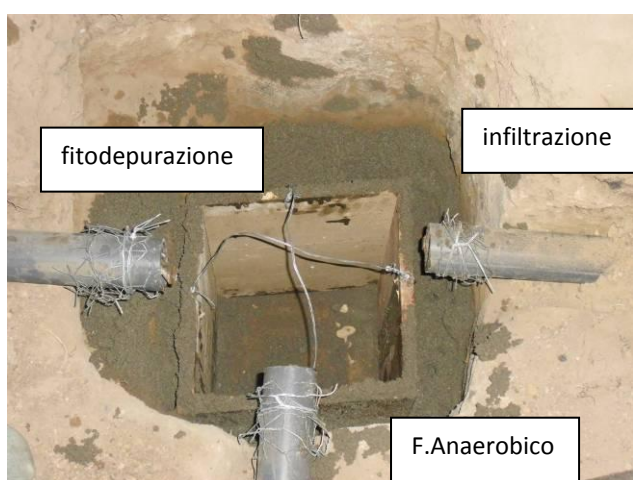


Fig. 4.29: Costruzione del pozzetto



Fig. 4.30: Altra vista del pozzetto

SISTEMA DI INFILTRAZIONE: Il sistema di infiltrazione realizzato sulla strada, al di fuori della proprietà della famiglia, permette di infiltrare nel terreno le acque depurate che non vengono utilizzate dalla famiglia (poiché non è presente o molto lacunosa la rete fognaria). L'infiltrazione dell'acqua in eccesso proveniente dal pozzetto d'accumulo avviene grazie ad un tubo forato di lunghezza pari a 1.2 metri collocato su un letto di pietre di 10 cm e a profondità pari a 1.1 m. Nelle figure 4.31 alla 4.33 viene riportato la pianta e la sezione del sistema di infiltrazione.

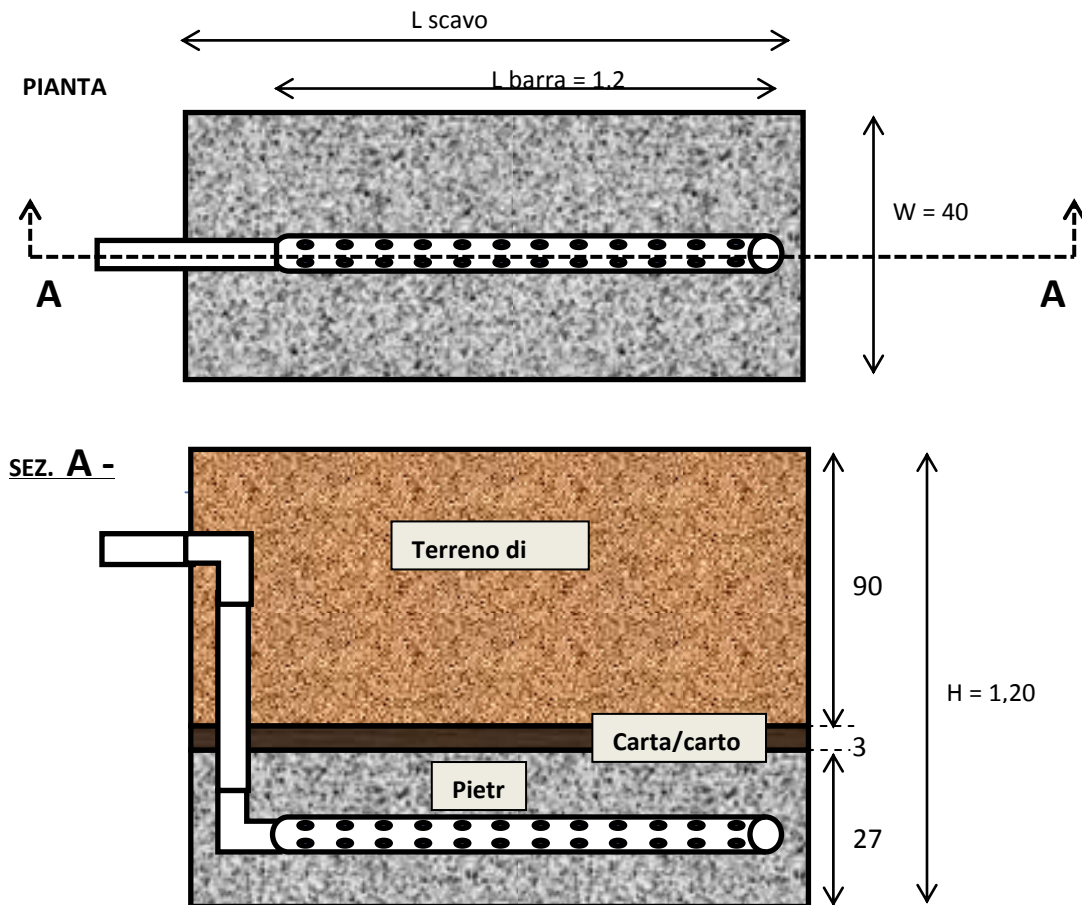


Fig. 4.31: Caratteristiche geometriche del sistema di infiltrazione



Fig.4.32: Operazioni di scavo



Fig. 4.33: Sistema di infiltrazione

Durante l'ultima missione in loco condotta tra Agosto e Settembre 2012 è stata anche apportata una modifica al sistema di infiltrazione: è stato costruito un piccolo orto intorno al pozzetto di accumulo delle acque depurate di dimensioni $W = 1$ m, $L = 1,4$ m, $H = 0,4$ m, con lo scopo di non sovraccaricare troppo il sistema di infiltrazione nel terreno e scongiurare l'ipotesi di accumuli di acqua grigia, seppur depurata, sopra il piano campagna. In questo orticello confluiscono le acque trattate in uscita dall'impianto di fitodepurazione per poi, se in eccesso, finire nel pozzetto di accumulo da dove possono essere prelevate per altri scopi oppure infiltrarsi nel terreno. Figure 4.34 e 4.35.



Fig. 4.34: Impianto di fitodepurazione e orticello a valle (costruito ad Settembre 2012)



Fig. 4.35: Orticello realizzato attorno al pozzetto di accumulo delle acque depurate

4.3.4 Punti di campionamento e modalità di raccolta dei campioni

I punti di campionamento per l'effettuazione delle analisi sono rappresentati dagli ingressi e le uscite dei trattamenti realizzati, più precisamente sono:

- Entrata alla trappola oli e grassi (corrispondente quindi all'uscita del refluo dall'abitazione);
- Uscita dalla trappola oli e grassi (corrispondente all'ingresso dei trattamenti successivi);
- Uscita dal Biofiltro;
- Uscita dal Filtro Anaerobico.

Tuttavia va sottolineato che, a causa dei costi elevati delle analisi effettuate dal laboratorio locale, non è stato possibile garantire un campionamento simultaneo dei

quattro punti ogni settimana, ma si è deciso di effettuare le analisi sempre su tre punti di campionamento (ingresso refluo, uscita biofiltro, uscita filtro anaerobico), eseguendo analisi all'uscita dalla trappola solo nella prima settimana di monitoraggio, in cui non è stato analizzato il campione uscente dal filtro anaerobico, costruito per ultimo e pertanto necessitante di almeno una settimana di avviamento. Figura 4.36.



Fig. 4.36: Impianti in Venezuela

I campioni sono stati prelevati e conservati durante il trasporto al laboratorio locale, grazie a contenitori in plastica (per i parametri chimico-fisici, vedi Figure 4.37 e 4.38) e ampole in vetro fornite dal laboratorio stesso.

Per prelevare il campione di acqua per l'analisi dei parametri microbiologici, si è prestata attenzione affinché l'ampolla non toccasse con un punto della condotta o con altri punti che potessero influenzare negativamente l'esito della prova. Immediatamente dopo aver prelevato i campioni, le ampole sono state posizionate in un recipiente circondate da cubetti di ghiaccio.



Fig. 4.37: Contenitori prelievo campioni chimico-fisici



Fig. 4.38: Ampolle prelievo campioni microbiologici

4.3.5 Strumentazione analitica

In questo paragrafo vengono presentati i parametri e gli strumenti utilizzati e descritte le metodiche per l'effettuazione delle analisi sia in Venezuela:

Temperatura: La temperatura dell'acqua, in ingresso e in uscita dell'impianto costruito in Venezuela è stata misurata grazie ad un ossimetro e un termometro tascabile, che ha permesso anche di verificare la temperatura dell'acqua, indispensabile per il dimensionamento dell'impianto.

Conducibilità elettrica (EC): La conducibilità è stata misurata, tramite un'apposita sonda collegata allo strumento WTW Cond 3110.

Torpidità: Lo strumento utilizzato nel corso della sperimentazione in venezuela è il WTW Turb 350 IR.

Oli e grassi (O&G): È stata misurata la sua concentrazione con l'intervento del Laboratorio di analisi La Salle presente a San Felix, a 15 minuti dal quartiere di Moscù (il laboratorio forniva contenitori in plastica di 4 L). Seguendo le istruzioni riportate negli "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th edition, dell' American Public Health Association, il Laboratorio ha utilizzato il metodo gravimetrico 5520-B.

Solidi Sospesi Totali (SST): Nel corso della sperimentazione in Venezuela, è stata misurata la concentrazione di solidi sospesi, grazie al Laboratorio La Salle, che ha fatto riferimento a quanto scritto negli "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th edition, dell' American Public Health Association, filtrando e seccando il campione a 103-105°C, (2540-D).

BOD: Il laboratorio La Salle di San Felix ha utilizzato, per la determinazione della concentrazione del BOD₅, un'incubazione per cinque giorni alla temperatura di 20°C, così come prescritto dagli "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th edition, dell' American Public Health Association, (5210-B).

COD: In Venezuela la misura del COD è stata effettuata del laboratorio locale attraverso il metodo colorimetrico, seguendo gli "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th edition, dell' American Public Health Association, (5220-D).

Azoto Totale (NT): L'analisi della concentrazione dell'azoto totale in Venezuela, è stata realizzata conservando i campioni in contenitori in plastica di 2 litri, immersi in vaschette piene di ghiaccio. Tutto ciò è stato fatto per permettere il trasporto dei campioni viaggiando verso il laboratorio OTECNAGUA (Oficina Tecnica para analisis de Agua) di Caracas, a circa 600 km da Ciudad Guayana. Il laboratorio della capitale venezuelana ha utilizzato il metodo suggerito dagli Standards Methods 4500-N.

Fosforo Totale (PT): Nella sperimentazione in Venezuela, la concentrazione di tale parametro è stata misurata come ortofosfato dal Laboratorio La Salle di San Felix, seguendo gli "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th edition, dell' American Public Health Association, (4500-P-B).

Parametri microbiologici: I parametri microbiologici complessivamente considerati nelle sperimentazioni venezuelana sono i Coliformi Totali, Coliformi Fecali, Escherichia Coli e Salmonella.

Il numero di coliformi presenti in un certo volume di acqua è spesso valutato secondo la tecnica del numero più probabile (MPN: Most Probable Number) che è basata su

un'analisi statistica eseguita su un gruppo di campioni con diverse concentrazioni (ottenute per diluizioni) e rappresenta una stima del numero che con maggiore probabilità approssima il reale numero presente nel volume d'acqua da cui sono stati tratti i campioni. Questa metodologia è stata utilizzata dal laboratorio La Salle in Venezuela per l'analisi dei Coliformi Fecali, per il primo monitoraggio in Venezuela.

Un'altra tecnica è quella della filtrazione su membrana (utilizzata durante le sperimentazioni in Venezuela e a Pavia) in grado di trattenere le specie o il gruppo da analizzare. La membrana attraverso cui è stata filtrata l'acqua viene poi trasferita su un idoneo terreno di coltura agarizzato in piastra Petri, contenente i nutrienti necessari per lo sviluppo e la crescita dei batteri, ed incubato ad una appropriata temperatura. Da ogni singolo batterio si svilupperà una colonia ben visibile. Il conteggio di queste colonie fornirà la misura di UFC (Unità Formanti Colonia) relativa al campione analizzato che solitamente viene riferita ad un volume di 100 mL. Quest'ultima procedura ha il vantaggio di essere più veloce della tecnica MPN e di fare un conteggio diretto del numero di microrganismi presenti.

I test sono stati effettuati utilizzando membrane filtranti e diversi terreni di coltura prodotti da Crami Amafilter Group Srl e forniti da TecnoLab, i terreni di coltura, sono state inserite all'interno di un piccolo incubatore trasportabile della SANDBERG & SCHNEIDEWIND. A seconda del parametro e del terreno di coltura usato, cambiano i tempi di incubazione e temperatura:

- E.Coli e Coli Totali: 24 ore a 37-38°C;
- Coli Fecali: 16-24 ore a 44°C;
- Salmonella: 48 ore a 37-38°C.

Il risultato nelle piastrine sarà rappresentato da una serie di puntini colorati che andranno contati e moltiplicati per un fattore che dipende da quante diluizioni sono state effettuate nella prova.

4.3.6 Piano di monitoraggio

In questo paragrafo verranno presentati i piani di monitoraggio delle sperimentazioni condotte in Venezuela sia per il primo monitoraggio (aprile 2012) come per il secondo monitoraggio (settembre 2012), riportando il nome della strumentazione utilizzata o il metodo applicato dal laboratorio di analisi venezuelano, i punti di campionamento considerati e il numero totale di analisi per punto di campionamento.

In tabella 4.3 viene presentato il piano di monitoraggio che corrisponde alla sperimentazione sugli impianti pilota di fitodepurazione e filtro anaerobico in Venezuela.

PARAMETRO	ANALISI LAB. (SMEWW *)	ANALISI CON STRUMENTAZIONE UNIVERSITA'	PUNTI DI CAMPIONAMENTO	N° TOTALE DI ANALISI PER PUNTO DI PRELIEVO
Torbidità		WTW Turb 350 IR	-IN Trappola -OUT Biofiltro -OUT Anaerobico	14
SST	2540-D			4
Oli e grassi	5520-B			3
EC	2510-A			1 (no anaerobico)
BOD	2510-B			3
COD	5220-D			4
Fosforo Totale	4500-P-B			3
Azoto Totale	4500-N			2
Coli. Totali		Kit TecnoLab		23
E. Coli		Kit TecnoLab		23
Coli. Fecali	9221-A	Kit TecnoLab**		16
Salmonella		Kit TecnoLab		22

(*) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th edition, dell' American Public Health Association. (**) Secondo monitoraggio

Tab. 4.3: Piano di monitoraggio (Venezuela)

4.4 RISULTATI E DISCUSSIONE SUGLI IMPIANTI PILOTA DI FITODEPURAZIONE E FILTRAZIONE ANAEROBICA CONDOTTA IN VENEZUELA

In questo paragrafo vengono mostrati tutti i risultati e le relative considerazioni, che corrispondono al primo e secondo monitoraggio degli impianti costruiti nel quartiere Moscú a Ciudad Guayana (Venezuela). Per ogni parametro considerato verrà fatto un confronto con i limiti richiesti dalla normativa venezuelana per il riutilizzo delle acque grigie a scopi irrigui e agricoli, o in mancanza di essi, con i limiti stabiliti per lo scarico degli effluenti trattati in corpi idrici superficiali.

TORBIDITA': Si può notare in tabella 4.4 che l'azione fondamentale nell'abbattimento di tale parametro è svolta dalla trappola a monte degli impianti, che permette la separazione di oli, grassi e particelle sedimentabili.

DATA	ENTRATA Sistemi (NTU)	OUT Trappola (NTU)	OUT Fitodepurazione (NTU)	OUT Filtro Anaerobico (NTU)
28 Marzo	150	-	19	19
31 Marzo	121	-	20	57
3 Aprile	595	106	32	85
6 Aprile	498	102	26	34
9 Aprile	331	104	29	48
12 Aprile	267	145	26	32
16 Aprile	518	76	17	41
19 Aprile	749	45.1	31.7	18.8
9 Settembre	345	105	38,4	56,3
13 Settembre	454	121	27,4	45,7
17 Settembre	201	76	19,6	58,2
20 Settembre	317	107	28,4	45,3
22 Settembre	486	89	33,4	65,7
22 Settembre	437	123	24,2	51,5

Tab. 4.4: Risultati delle analisi sulla torbidità nei vari punti di campionamento

Come si può vedere i valori di torbidità sono abbastanza costanti nei reflui uscenti dai trattamenti, in cui è stato migliorato il sistema di ritenzione di materiale sedimentabile e colloidale nella trappola a monte degli impianti pilota, attraverso una griglia

protettiva metallica ricoperta internamente ed esternamente da una maglia a luci di passaggio ancora più piccole. In figura 4.39 vengono riportati gli andamenti della torbidità nell'acqua grigia in ingresso, in uscita dalla trappola di oli e grassi, all'uscita del trattamento di fitodepurazione e del filtro anaerobico.

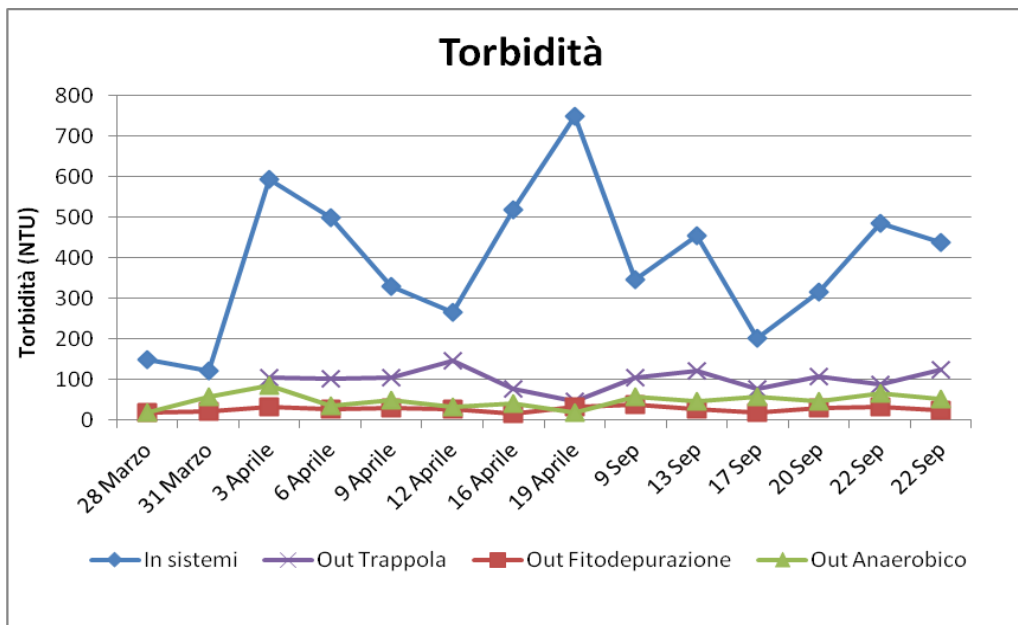


Fig. 4.39: Andamenti della torbidità nei punti di campionamento considerati

In figura 4.40 vengono mostrati i contributi medi di abbattimento della torbidità di ciascun trattamento: essi sono stati espressi attraverso una riduzione percentuale e calcolati considerando la concentrazione in entrata e in uscita al singolo trattamento.

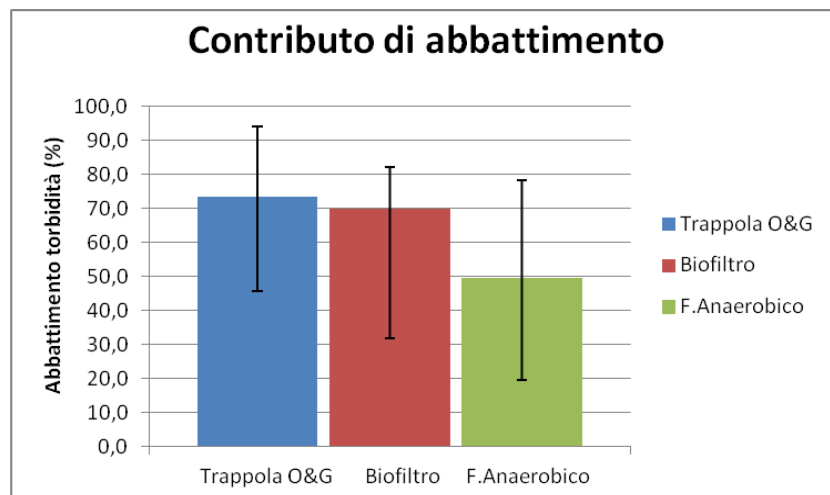


Fig. 4.40: Contributi medi, massimi e minimi di rimozione della torbidità per ciascun trattamento

Per quanto riguarda il parametro di Torbidità la normativa venezuelana "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos", Decreto n°883, dell'11 Ottobre 1995, non stabilisce alcun limite di rispetto.

SOLIDI SOSPESI TOTALI: Sono state effettuate tre misure sui solidi sospesi, una per settimana escludendo la seconda settimana. I risultati vengono riportati in Tabella 4.5: per l'effettuazione della seconda e terza prova sul campione in entrata è

stata applicata una miscelazione dell'acqua riportando in sospensione materiale già sedimentato di alcuni giorni precedenti e facendo in modo che potesse entrare nei trattamenti a valle molti più solidi, rispetto al normale funzionamento. Tutto ciò è stato fatto per vedere se, ad una concentrazione in entrata molto alta e non propria delle acque grigie, potessero essere riscontrati valori in uscita alti e ben diversi da quelli normalmente ottenuti.

DATA	ENTRATA (mg/L)	OUT Fitodepurazione (mg/L)	OUT Filtro Anaerobico (mg/L)
28 Marzo	87	15	-
12 Aprile	628	11	14
16 Aprile	623	22	11
20 Settembre	320	41	10

Tab. 4.5: Risultati delle analisi sui Solidi Sospesi Totali nei vari punti di campionamento

Come si può invece apprezzare dalla figura 4.41, le concentrazioni negli effluenti dei sistemi sono piuttosto costanti, i rendimenti di rimozione calcolati tra refluo in uscita della trappola e in uscita dai sistemi sono 83% per la fitodepurazione e il 98% per il filtro anaerobico. Il limite massimo imposto dalla normativa venezuelana è di 80 mg/L di solidi sospesi per lo scarico in acque superficiali.

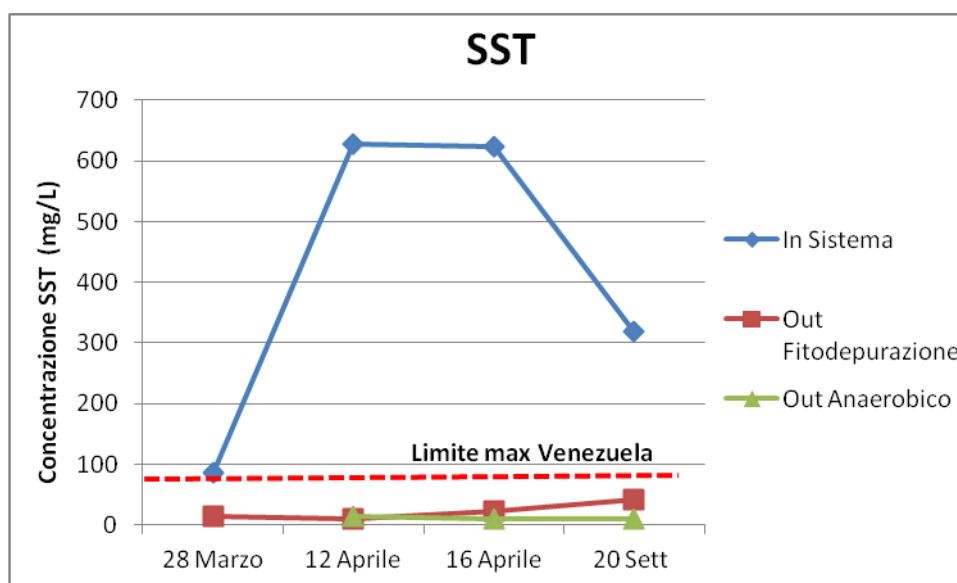


Fig. 4.41: Andamenti delle concentrazioni di SST nei punti di campionamento

OLI E GRASSI: Di seguito in tabella 4.6 vengono riportati i risultati delle due analisi effettuate nella prima e nell'ultima settimana di monitoraggio.

DATA	ENTRATA (mg/L)	OUT Trappola (mg/L)	OUT Fitodepurazione (mg/L)	OUT Filtro Anaerobico (mg/L)
12 Aprile	22	12	3	-
16 Aprile	490	-	1	4
20 Settembre	133	18	1	-

Tab 4.6: Risultati delle analisi sugli Oli e Grassi nei vari punti di campionamento

In figura 4.42 vengono riportati graficamente gli andamenti delle concentrazioni misurate.

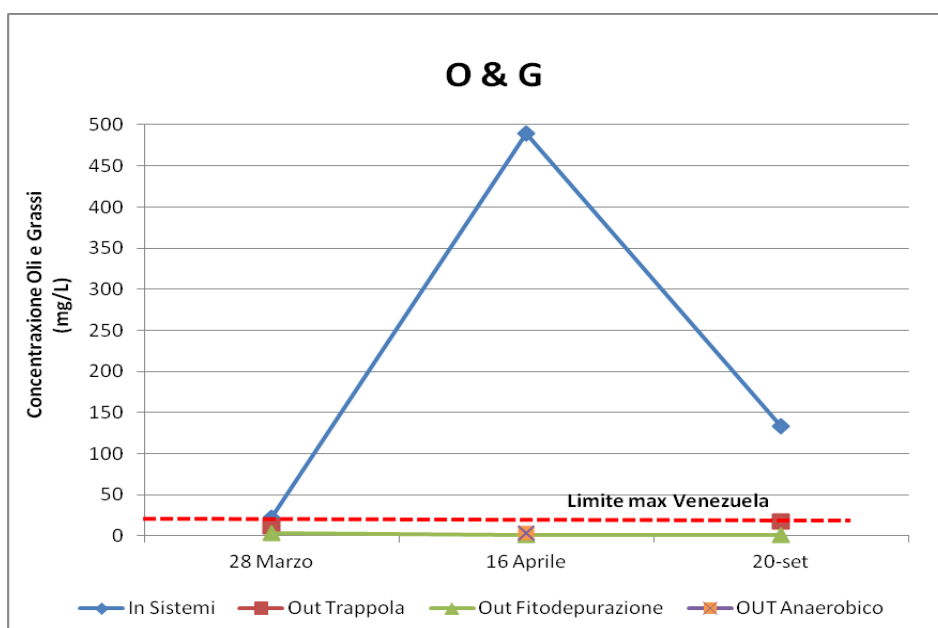


Fig. 4.42: Andamenti delle concentrazioni di oli e grassi nei punti di campionamento

Per il sistema Trappola-Filtro anaerobico si registra una resa del 99.2%, e per la fitodepurazione la resa media è di 85%. In entrambe le analisi si rispetta ampiamente il limite massimo di 20 mg/L di oli e grassi previsto dalla normativa venezuelana per lo scarico in corpi idrici superficiali.

CONDUCIBILITA' ELETTRICA: Per quanto riguarda la conducibilità elettrica, ovvero la misura del contenuto di sali disciolti nell'acqua grigia, è stato possibile effettuare una sola analisi su due punti di campionamento per questioni di costo delle analisi e quindi del budget a disposizione. È stato prelevato un campione in entrata agli impianti a monte della trappola oli e grassi e un campione in uscita dall'impianto di fitodepurazione; questi sono stati portati presso il laboratorio La Salle che, tramite una misurazione con conduttimetro, ha fornito i seguenti risultati:

- 322 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in ingresso agli impianti;
- 285 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nell'effluente del trattamento di fitodepurazione.

Tali risultati, se confrontati con i valori riportati da vari autori, sono vicini a quelli ottenuti in un altro Paese Latino-Americano, Costa Rica (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e sono la prova di un'acqua povera di sali disciolti, provenienti maggiormente dalla cucina e anche dai lavaggi in lavatrice.

BOD₅ : I risultati delle misure di BOD₅, effettuate dal laboratorio locale incubando a 20°C per 5 giorni i risultati sono mostrate in tabella 4.7.

DATA	IN Sistemi (mg/L)	OUT Fitodepurazione (mg/L)	OUT Filtro Anaerobico (mg/L)
12 Aprile	80	17	8
16 Aprile	160	8	4
20 Settembre	123	17	5,3

Tab 4.7: Risultati delle analisi sul BOD₅ nei vari punti di campionamento

In figura 4.43 viene mostrato graficamente l'andamento delle concentrazioni in ingresso e uscita dai singoli trattamenti: la figura suggerisce che col tempo i due sistemi vadano a regime, ovvero che nell'impianto di fitodepurazione e nel filtro anaerobico aumenti la popolazione batterica necessaria per la riduzione della concentrazione di BOD.

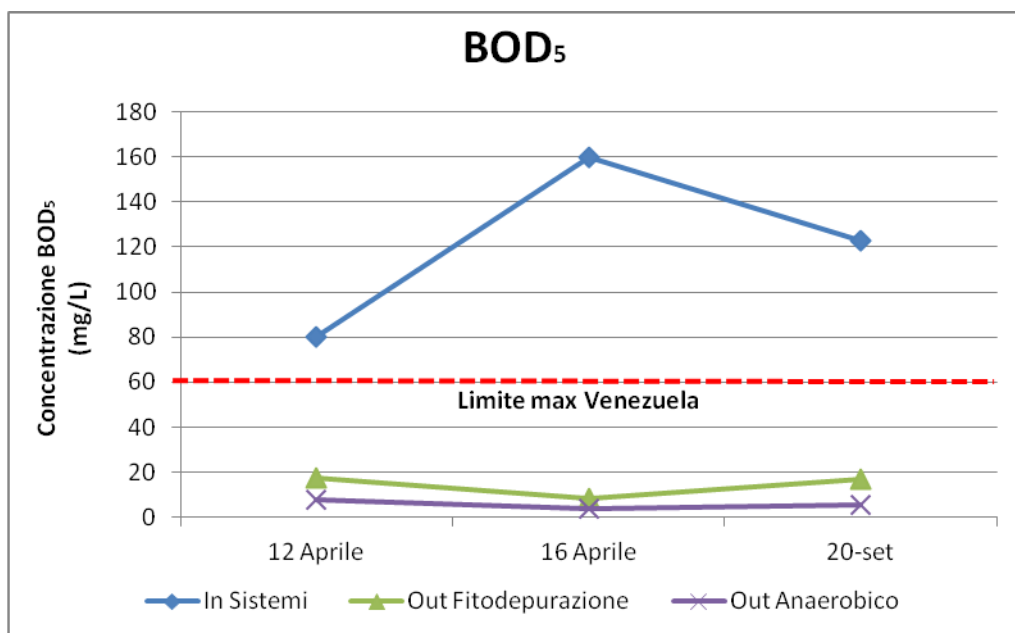


Fig. 4.43: Andamento delle concentrazioni di BOD₅ nei punti di campionamento

Vengono calcolati i rendimenti di rimozione del parametro dei sistemi Trappola-Fitodepurazione e Trappola-Filtro Anaerobico, ovvero considerando la concentrazione in uscita della trappola e la concentrazione in uscita dai filtri. Sulla concentrazione di BOD si è registrato una resa di rimozione del 86,5% per la fitodepurazione e 94,4% per la filtrazione anaerobica, e grazie a. Il limite di 60 mg/L fissato dalle Normas Uficiales del Venezuela per lo scarico in acque superficiali viene in entrambi i casi rispettato con un buon franco di sicurezza.

COD: Il COD è stato misurato con il metodo colorimetrico dal laboratorio La Salle, i cui esiti sono elencati in tabella 4.8.

DATA	ENTRATA (mg/L)	OUT Fitodepurazione (mg/L)	OUT Filtro Anaerobico (mg/L)
28 Marzo	280	5	-
12 Aprile	863	39	32
16 Aprile	1454	42	29
20 Settembre	740	28	17

Tab. 4.8: Risultati delle analisi sul COD nei vari punti di campionamento

In Figura 4.44 vengono mostrati graficamente i risultati delle analisi effettuate, in riferimento allo standard qualitativo richiesto dalla normativa venezuelana.

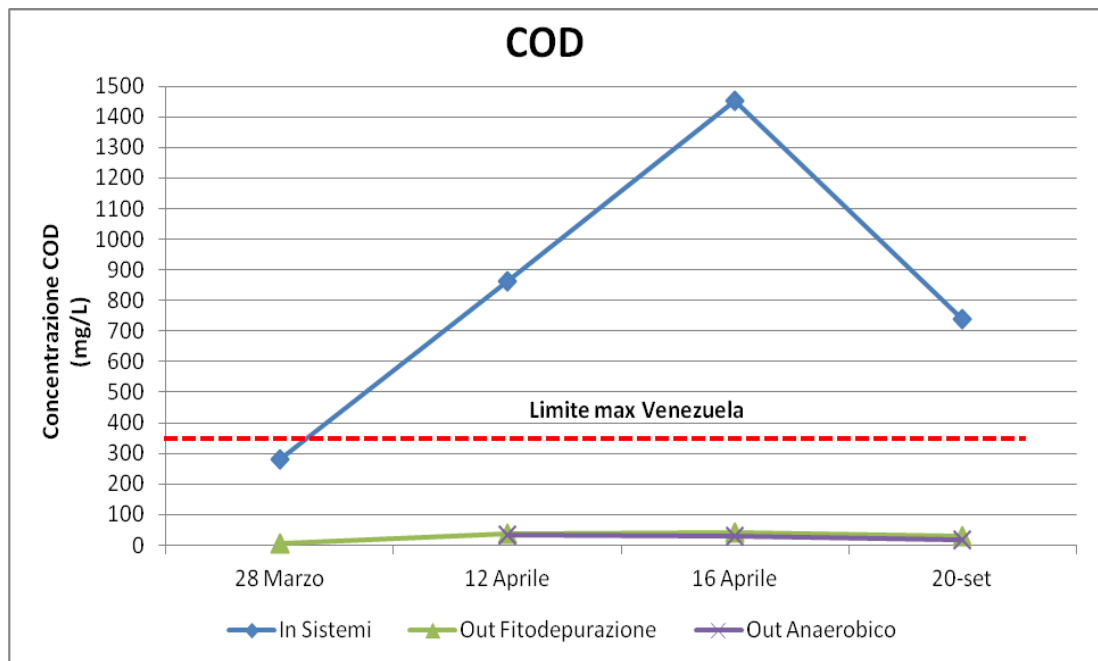


Fig. 4.44: Andamento delle concentrazioni di COD nei punti di campionamento considerati

Sono stati calcolate le riduzioni di COD tra la concentrazione uscente della trappola oli e grassi e la concentrazione dell'effluente dai sistemi. La media di rendimenti per la fitodepurazione 96,7% e per il filtro anaerobico 97,3%. Il limite di 350 mg/L di COD imposto dalla normativa venezuelana per lo scarico in acque superficiali viene decisamente rispettato in ogni analisi.

FOSFORO TOTALE: La concentrazione di fosforo totale è stata misurata portando i campioni prelevati nell'impianto pilota di Barrio Moscù, al laboratorio La Salle (Ciudad Guayana). I risultati trasmessi dal laboratorio sono riportati in tabella 4.9:

DATA	ENTRATA (mg/L)	OUT Fitodepurazione (mg/L)	OUT Filtro Anaerobico (mg/L)
28 Marzo	1.78	0.07	-
16 Aprile	5.56	0.21	0.17
20 Settembre	0,76	0,028	0,26

Tab 4.9: Risultati delle analisi sul Fosforo Totale nei vari punti di campionamento

In Figura 4.45 vengono raffigurati gli andamenti delle concentrazioni misurate nei campioni prelevati nei punti di campionamento considerati.

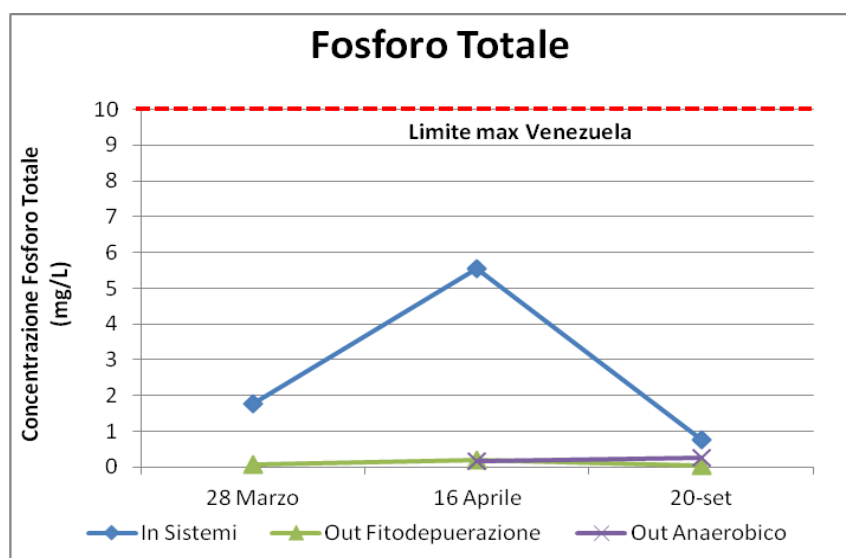


Fig. 4.45: Andamento delle concentrazioni nei punti di campionamento

Come si può vedere, le concentrazioni già in ingresso all'impianto sono sotto il limite massimo di 10 mg/L richiesto dalla normativa venezuelana per lo scarico in corpi idrici superficiali: ciò è dovuto principalmente a uno scarso utilizzo di prodotti chimici nel lavaggio dei capi. I trattamenti progettati garantiscono in ogni caso abbattimenti ben più alti di quelli riscontrati in letteratura. La media di rendimenti per la fitodepurazione 63,2% e per il filtro anaerobico 65,8%.

AZOTO TOTALE : I risultati dell'analisi sono riportati in tabella 4.10 e, nonostante già in ingresso agli impianti si rispetti lo standard qualitativo pari a 40 mg/L stabilito dalla normativa venezuelana per lo scarico in acque superficiali, mostrano un abbattimento del 62.3% per il sistema Trappola-Fitodepurazione e 78.5% per il sistema Trappola-Filtro anaerobico.

DATA	ENTRATA (mg/L)	OUT Fitodepurazione (mg/L)	OUT Filtro Anaerobico (mg/L)
28 Marzo	19.5	8.4	4.2
28 Settembre	41	13	-

Tab. 4.10: Risultati delle analisi sull'Azoto Totale nei vari punti di campionamento

ESCHERICHIA COLI: Vengono riportati in tabella 4.11 i risultati delle analisi che sono state effettuate con i Kit contenenti i terreni di coltura, specifici per i vari parametri.

DATA	ENTRATA (UFC/100mL)	OUT Trappola (UFC/100mL)	OUT Fitodepurazione (UFC/100mL)	OUT Filtro Anaerobico (UFC/100mL)
28 Marzo	2.8*10 ⁶	-	2.3*10 ⁵	-
31 Marzo	5.8*10 ⁵	-	4.8*10 ⁴	8.0*10 ³
3 Aprile	1.9*10 ⁵	-	2.8*10 ³	9.3*10 ³
6 Aprile	7.9*10 ⁵	-	1.2*10 ³	6.5*10 ³
9 Aprile	1.4*10 ⁵	-	1.0*10 ³	8.0*10 ²
12 Aprile	1.9*10 ⁴	-	9.0*10 ²	8.0*10 ³
16 Aprile	5.3*10 ⁴	4.2*10 ⁴	4.0*10 ²	5.0*10 ²
19 Aprile	1.6*10 ⁵	2.5*10 ⁴	4.0*10 ²	6.0*10 ²
8 Settembre	1.0*10 ⁵	1.0*10 ⁵	2.0*10 ²	1.0*10 ²
9 Settembre	2.0*10 ⁵	2.0*10 ⁵	4.0*10 ²	0
10 Settembre	3.0*10 ⁵	2.0*10 ⁵	2,0102	1.0*10 ²
11 Settembre	-	3.0*10 ⁵	1.0*10 ²	1.0*10 ²
12 Settembre	-	1.0*10 ⁵	1.0*10 ²	0
13 Settembre	-	2.0*10 ⁵	2.0*10 ²	0
14 Settembre	-	3.0*10 ⁵	2.0*10 ²	1.0*10 ²
15 Settembre	-	2.0*10 ⁵	2.0*10 ²	0
17 Settembre	-	2.0*10 ⁵	4.0*10 ²	0
18 Settembre	-	4.0*10 ⁵	1.0*10 ²	1.0*10 ²
20 Settembre	-	1.0*10 ⁵	1.0*10 ²	1.0*10 ²
22 Settembre	-	1.0*10 ⁵	8.0*10 ²	1.0*10 ²
23 Settembre	-	4.0*10 ⁵	2.0*10 ²	-
24 Settembre	-	3.0*10 ⁵	2.0*10 ²	-
26 Settembre	-	-	4,0*10 ²	-

Tab. 4.11: Risultati delle analisi sull'Escherichia Coli nei vari punti di campionamento

La figura 4.46 mostra l'andamento in scala logaritmica delle concentrazioni di E.Coli, che risulta tendente a decrescere nel tempo.

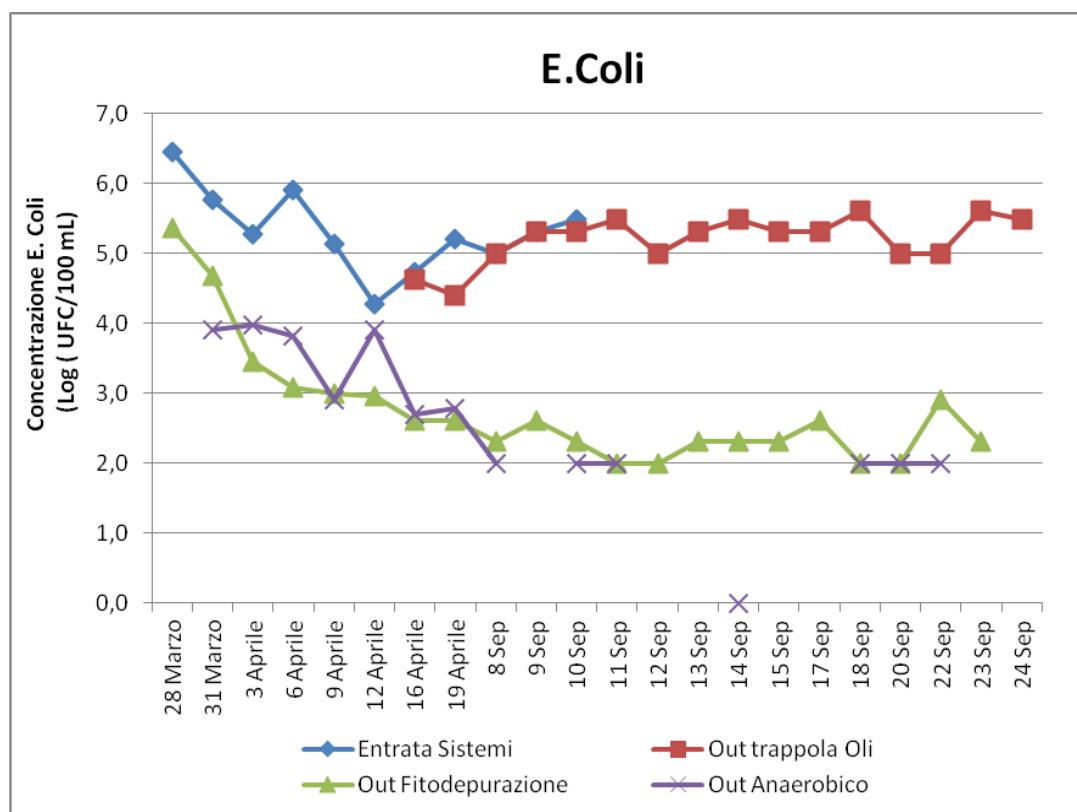


Fig. 4.46: Andamento delle analisi sull'Escherichia Coli nei punti di campionamento considerati

I rendimenti di rimozione sull'E.Coli da parte dei due sistemi in parallelo, ovvero impianto di fitodepurazione e filtrazione anaerobica, sono stati calcolati in termini percentuali e unità logaritmiche, per l'impianto di fitodepurazione ha un rendimento medio di rimozione del 98.8% (2.6, in termini logaritmici), mentre per il filtro anaerobico upflow 97.5% (2.5, in termini logaritmici). Per quanto riguarda l'aspetto normativo, in Venezuela non viene posto alcun limite sull'E.Coli.

COLIFORMI TOTALI: In tabella 4.12 vengono riportati i risultati delle analisi di Coliformi Totali, effettuate prelevando i campioni dagli impianti pilota di Barrio Moscú.

DATA	ENTRATA (UFC/100mL)	OUT Trappola (UFC/100mL)	OUT Fitodepurazione (UFC/100mL)	OUT Filtro Anaerobico (UFC/100mL)
28 Marzo	1.8*10 ⁶	-	8.3*10 ⁴	-
31 Marzo	8.2*10 ⁵	-	1.3*10 ⁵	1.0*10 ⁵
3 Aprile	1.5*10 ⁵	-	6.7*10 ³	5.5*10 ³
6 Aprile	2.0*10 ⁶	-	9.8*10 ³	1.0*10 ⁴
9 Aprile	2.9*10 ⁵	-	1.2*10 ⁴	1.0*10 ⁴
12 Aprile	2.2*10 ⁵	-	4.8*10 ³	1.1*10 ⁴
16 Aprile	4.6*10 ⁶	1.6*10 ⁶	2.7*10 ³	5.6*10 ³
19 Aprile	5.6*10 ⁵	8.1*10 ⁴	4.9*10 ³	5.1*10 ³
8 Sep	1,9*10 ⁶	1,2*10 ⁶	8,0*10 ²	8,8*10 ³
9 Sep	7,0*10 ⁶	6,3*10 ⁶	9,0*10 ²	1,0*10 ⁴
10 Sep	8,8*10 ⁶	3,6*10 ⁶	5,4*10 ³	9,8*10 ³
11 Sep	-	7,3*10 ⁶	4,0*10 ²	5,5*10 ³
12 Sep	-	3,4*10 ⁶	1,0*10 ²	6,5*10 ³
13 Sep	-	6,4*10 ⁶	6,0*10 ²	9,2*10 ³
14 Sep	-	4,5*10 ⁶	7,0*10 ²	1,1*10 ⁴
15 Sep	-	2,3*10 ⁶	5,0*10 ²	8,3*10 ³
17 Sep	-	8,1*10 ⁶	4,0*10 ²	6,2*10 ³
18 Sep	-	5,3*10 ⁶	2,0*10 ²	5,1*10 ³
20 Sep	-	2,4*10 ⁶	5,0*10 ²	7,2*10 ³
22 Sep	-	5,8*10 ⁶	9,0*10 ²	8,0*10 ³
23 Sep	-	3,8*10 ⁶	3,0*10 ²	6,0*10 ³
24 Sep	-	4,6*10 ⁶	4,0*10 ²	-
26 Sep	-	5,2*10 ⁶	5,0*10 ²	-

Tab. 4.12: Risultati delle analisi sui Coliformi Totali nei vari punti di campionamento

In figura 4.47 vengono mostrati gli andamenti in scala logaritmica delle analisi effettuate: come per quanto visto con l'E.Coli, si denota un andamento che tende a decrescere nel tempo, dapprima ottenendo valori di poco superiori al limite massimo per il riutilizzo degli effluenti per l'irrigazione di piante non destinate al consumo umano e al bestiame, stando sotto a tale limite nelle ultime analisi.

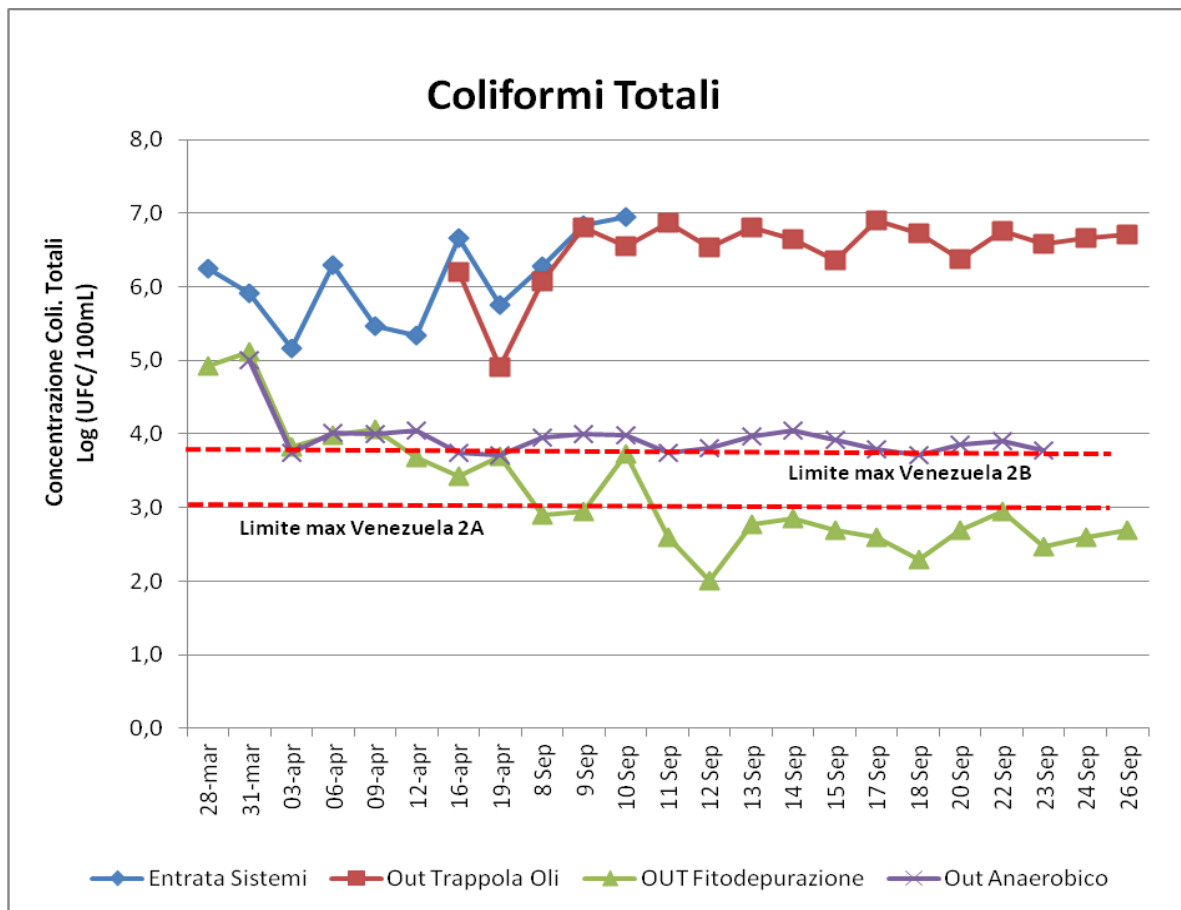


Fig. 4.47: Andamento delle analisi sui Coliformi Totali

Per i rendimenti di rimozione dei Coliformi Totali si ottiene un rendimento medio di 98.6% (3.2 in logaritmo) per l'impianto di fitodepurazione e di 98.5% (2.4 Log) per il filtro anaerobico.

La normativa venezuelana stabilisce i seguenti limiti:

- 5000 MPN/100mL previsto dalla normativa venezuelana per il riutilizzo degli effluenti per irrigazione di piante e per il bestiame (acque del Tipo 2B);
- 1000 MPN/100mL fissato dalla normativa venezuelana per il riuso dell'effluente in agricoltura (acque del Tipo 2A).

Rispettando i limiti nell'ultime analisi delle concentrazioni di Coliformi Totali, per il sistema di fitodepurazione per acque del tipo 2A.

COLIFORMI FECALI: Per il primo monitoraggio in Venezuela (aprile 2012), le analisi sui Coliformi Fecali sono state effettuate dal laboratorio La Salle, che purtroppo ha fornito i risultati (Tabella 4.13) non quantificando con precisione la concentrazione superiore alla soglia dei 1600 MPN/100mL. Di conseguenza non è stato possibile stimare un possibile e auspicabile andamento decrescente nel tempo e calcolare i rendimenti di rimozione dei trattamenti realizzati.

DATA	ENTRATA (MPN/100mL)	OUT Trappola (MPN/100mL)	OUT Fitodepurazione (MPN/100mL)	OUT Filtro Anaerobico (MPN/100mL)
28 Marzo	> 1600	> 1600	> 1600	-
12 Aprile	> 1600	-	-	> 1600
16 Aprile	> 1600	-	> 1600	> 1600

Tabella 4.13: Risultati delle analisi sui Coliformi Fecali, forniti dal laboratorio locale

Per il secondo monitoraggio in Venezuela (Settembre 2012), le analisi sui Coliformi Fecali sono state effettuate con la strumentazione del CeTAmb. In tabella 4.14 sono mostrati i risultati del secondo monitoraggio.

Data	In sistema (UFC/100mL)	Out trappola Oli (UFC/100mL)	Out Fitodepurazione (UFC/100mL)	Out anaerobico (UFC/100mL)
8 Sep	2,4*10 ⁵	1,6*10 ⁵	1,0*10 ²	2,4*10 ³
9 Sep	3,1*10 ⁵	2,9*10 ⁵	1,0*10 ²	1,4*10 ³
10 Sep	5,4*10 ⁵	5,1*10 ⁵	2,0*10 ²	3,8*10 ³
11 Sep	-	8,0*10 ⁵	1,0*10 ²	8,0*10 ²
12 Sep	-	2,9*10 ⁵	0	2,1*10 ³
13 Sep	-	4,2*10 ⁵	0	1,3*10 ³
14 Sep	-	7,2*10 ⁵	8,7*10 ¹	8,0*10 ²
15 Sep	-	8,6*10 ⁵	4,4*10 ¹	1,2*10 ³
17 Sep	-	7,8*10 ⁵	2,1*10 ¹	1,1*10 ³
18 Sep	-	8,2*10 ⁵	9,1*10 ¹	9,0*10 ²
20 Sep	-	4,8*10 ⁵	8,8*10 ¹	1,8*10 ³
22 Sep	-	3,0*10 ⁵	9,7*10 ¹	1,5*10 ³
23 Sep	-	7,0*10 ⁵	2,7*10 ¹	1,2*10 ³
24 Sep	-	8,0*10 ⁵	4,2*10 ¹	-
26 Sep	-	-	3,6*10 ¹	-

Tab. 4.14: Risultati secondo monitoraggio in Venezuela Coliformi Fecali.

La figura 4.48 rappresenta il andamento dei Coliformi Fecali nel trascorso del monitoraggio.

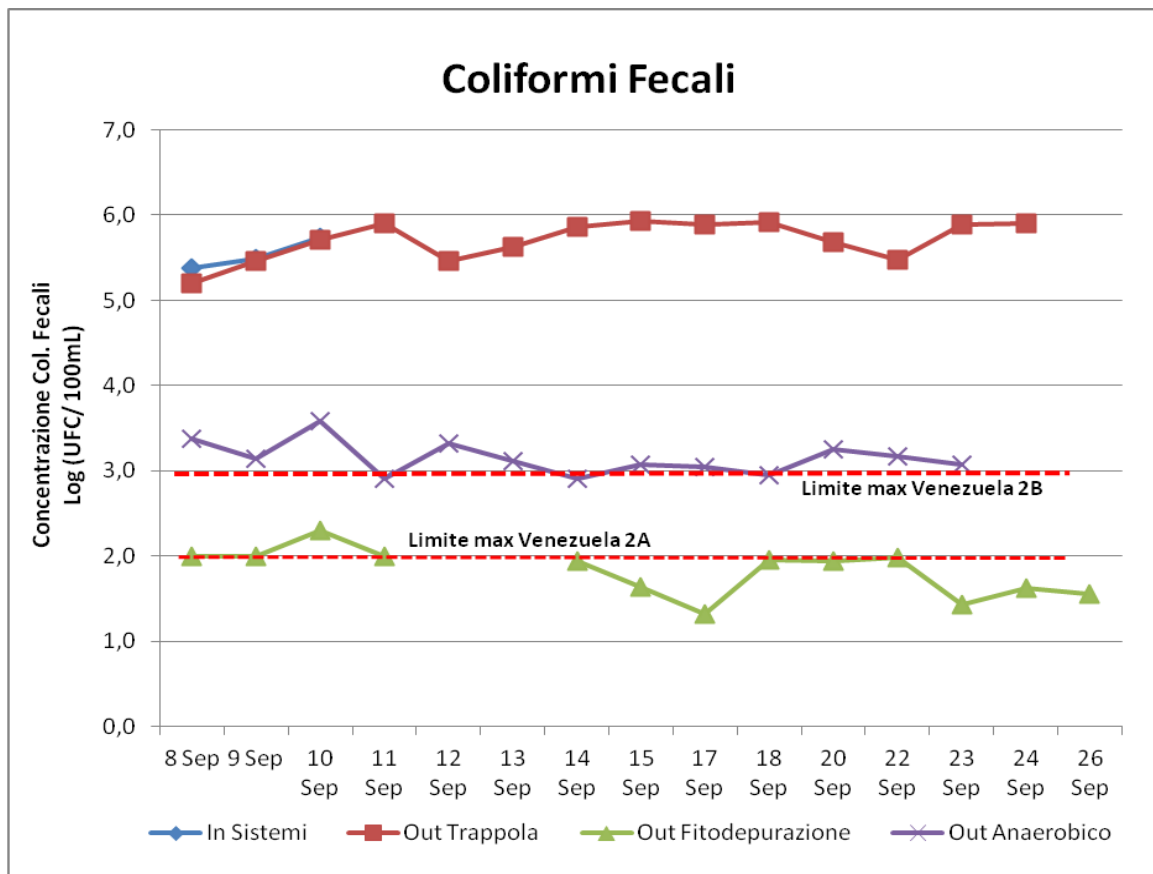


Fig. 4.48: Andamento delle analisi sui Coliformi Fecali

Per i rendimenti di rimozione dei Coliformi Fecali, si ottiene un rendimento medio di 99.9% (3.7 in logaritmo) per l'impianto di fitodepurazione e di 99.6% (2.6 Log) per il filtro anaerobico. I limiti imposti dalla normativa venezuelana per Coliformi Fecali sono i seguenti:

- 1000 MPN/100mL richiesti dalla normativa venezuelana per lo scarico in corpi idrici superficiali e per il riutilizzo dell'effluente per l'irrigazione di piante decorative o per il bestiame (acqua di Tipo 2B);
- 100 MPN/100mL richiesti dalla normativa venezuelana per l'irrigazione di piante da cui si ricavano beni destinati al consumo umano (acqua di Tipo 2A);

Rispettando i limiti nell'ultime analisi delle concentrazioni di Coliformi Fecali per il sistema di fitodepurazione, per acque del tipo 2A.

SALMONELLA: In tabella 4.15 vengono riportati i risultati delle analisi sulla Salmonella effettuate con i terreni di coltura TecnoLab.

DATA	ENTRATA SISTEMI (UFC/100mL)	OUT Fitodepurazione (UFC/100mL)	OUT Filtro Anaerobico (UFC/100mL)
28 Marzo	1.2*10 ⁷	3.2*10 ⁵	-
31 Marzo	3.1*10 ⁶	1.7*10 ⁵	2.7*10 ⁵
6 Aprile	1.8*10 ⁶	2.6*10 ⁴	1.7*10 ⁵
12 Aprile	9.4*10 ⁵	6.6*10 ⁴	2.0*10 ⁵
16 Aprile	2.0*10 ⁶	1.9*10 ⁴	1.6*10 ⁴
19 Aprile	3.2*10 ⁶	-	3.0*10 ⁴
8 Sep	6.5*10 ⁶	2.8*10 ³	1.8*10 ⁴
9 Sep	8.8*10 ⁶	7.2*10 ³	2.4*10 ⁴
10 Sep	2.5*10 ⁶	9.3*10 ³	5.5*10 ⁴
11 Sep	9.4*10 ⁶	1.5*10 ³	8.1*10 ⁴
12 Sep	5.5*10 ⁶	1.0*10 ³	6.3*10 ⁴
13 Sep	7.8*10 ⁶	3.4*10 ³	4.8*10 ⁴
14 Sep	9.3*10 ⁶	5.6*10 ³	3.7*10 ⁴
15 Sep	3.5*10 ⁶	4.3*10 ³	2.3*10 ⁴
17 Sep	9.6*10 ⁶	2.7*10 ³	7.4*10 ⁴
18 Sep	7.6*10 ⁶	1.3*10 ³	2.5*10 ⁴
20 Sep	6.5*10 ⁶	6.2*10 ³	3.1*10 ⁴
22 Sep	7.7*10 ⁶	8.9*10 ³	4.8*10 ⁴
23 Sep	4.5*10 ⁶	1.8*10 ³	6.1*10 ⁴
24 Sep	6.8*10 ⁶	2.1*10 ³	-
26 Sep	8.1*10 ⁶	6.4*10 ³	-

Tab. 4.15: Risultati delle analisi sulla Salmonella nei vari punti di campionamento

In figura 4.49 viene mostrato graficamente l'andamento delle concentrazioni in entrata e in uscita dall'impianto: si registrano concentrazioni molto alte in ingresso che vengono abbattute fino a due ordini di grandezza.

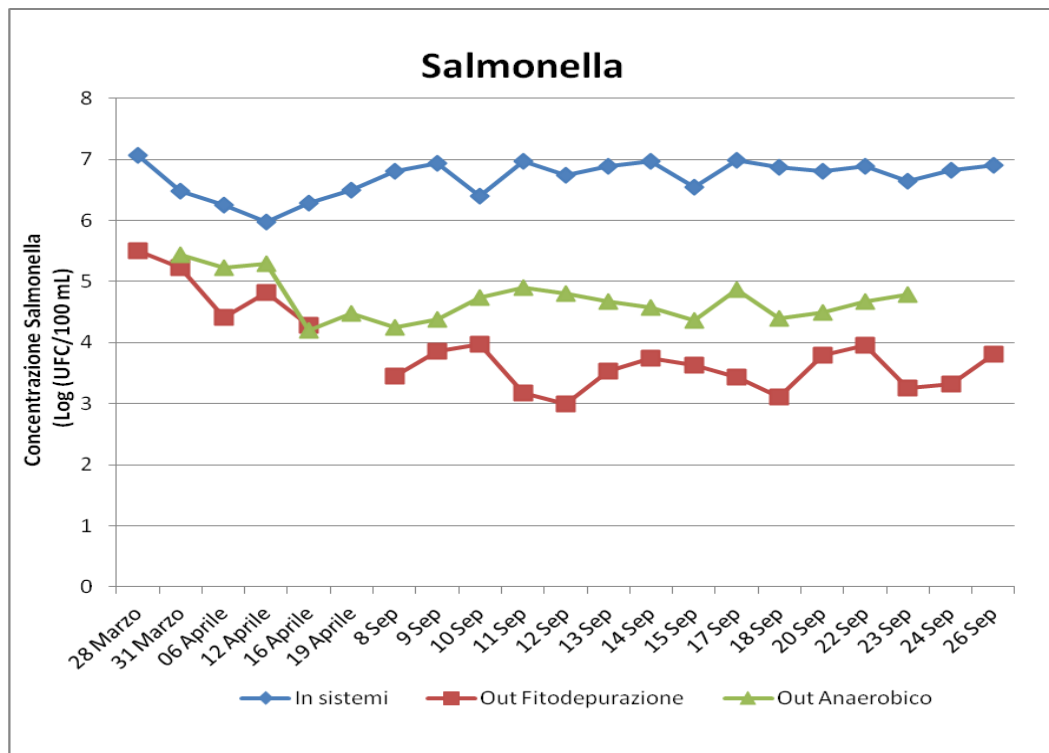


Fig. 4.49: Andamento delle concentrazioni di Salmonella nei punti di campionamento considerati

Il rendimento medio calcolato in termini percentuali e logaritmici di 99.0% (3.0 in logaritmo) per l'impianto di fitodepurazione e di 97.5% (1.9 Log) per il filtro anaerobico.

La normativa venezuelana non impone alcun limite sulla Salmonella, né per lo scarico in corpi idrici superficiali né sul riutilizzo degli effluenti in agricoltura o irrigazione.

4.4.1 Tabelle riassuntive

In tabella 4.16, sono riportate le rese di rimozione calcolate e quelle disponibili in letteratura degli impianti pilota in parallelo realizzati nel quartiere Moscú a Ciudad Guayana, per il primo e secondo monitoraggio in Venezuela.

PARAMETRO	TRAPPOLA O&G		FITODEPURAZIONE			FILTRO ANAEROBICO		
	RESA DI RIMOZIONE CALCOLATA (%)	RESA DI RIMOZIONE DA LETTERATURA	RESA DI RIMOZIONE CALCOLATA	RESA DI RIMOZIONE CALCOLATA MEDIA	RESA DI RIMOZIONE DA LETTERATURA	RESA DI RIMOZIONE CALCOLATA MEDIA	RESA DI RIMOZIONE DA LETTERATURA	
Torbidità	46 ÷ 94%	-	30 ÷ 82 %	70%	-	19.5 ÷ 78.2 (%)	54%	-
SST	-	≤ 20 %	83 ÷ 98 % (**)	83%	80 ÷ 95 %	98 % (**)	98%	50 ÷ 80 %
Oli e grassi	45 % (*)	~ 70 %	86 ÷ 99.7 % (**)	85%	-	99 % (*)	99 % (*)	-
BOD ₅	-	≤ 20 %	78 ÷ 95 % (**)	87%	80 ÷ 90 %	90 ÷ 98 % (**)	94%	50 ÷ 80 %
COD	-	-	96 ÷ 98 % (**)	97%	-	96 ÷ 98 % (**)	97%	-
Fosforo Totale	-	≤ 10 %		63%	30 ÷ 45 %		66%	-
Azoto Totale	-	≤ 10 %		62%	15 ÷ 40		78%	≤ 15 %
Coli. Totali	-	-		3.2 Log	~ 1.6 Log		2.4 Log	≤ 1+2 Log
E.Coli	-	-		2.6 Log	~ 1.6 Log		2.5 Log	-
Salmonella	-	-		3 Log	-		1.9 Log	-

(*): una sola analisi disponibile

(**): resa di rimozione calcolata considerando la concentrazione entrante alla trappola oli e grassi e quella uscente dal trattamento secondario (fitodepurazione o filtrazione anaerobica)

Tab. 4.16: Confronto tra le rese di rimozione ottenute in Venezuela e i valori bibliografici

Complessivamente le rese di rimozione risultano soddisfacenti e compatibili con i valori bibliografici reperiti; si sono riscontrate rese di rimozione più elevate rispetto a quelle da letteratura per NT e per i parametri microbiologici.

La tabella riassuntiva 4.17 mostra i risultati della prima fase di monitoraggio (I - M) in aprile 2012, e anche i risultati ottenuti nel corso della seconda fase di monitoraggio (II - M) a settembre 2012, con un confronto con gli standard della normativa venezuelana per lo scarico in acque superficiali e per il riutilizzo in agricoltura in coltivazioni per consumo umano (acqua tipo 2A).

Parametri	Standard normativo Venezuelano (scarico in acque superficiali)				Standard normativo Venezuelano (riutilizzo in agricoltura per consumo umano). Acque tipo 2A			
	Fitodepurazione		Filtro anaerobico		Fitodepurazione		Filtro anaerobico	
	I - M	II - M	I - M	II - M	I - M	II - M	I - M	II - M
SST (mg/L)	SI	SI	SI	SI	++	++	++	++
COD (mg/L)	SI	SI	SI	SI	++	++	++	++
BOD ₅ (mg/L)	SI	SI	SI	SI	++	++	++	++
N _{TOT} (mg/L)	SI	SI	SI	SI	++	++	++	++
P _{TOT} (mg/L)	SI	SI	SI	SI	++	++	++	++
Coliformi totali (UFC/100 mL)	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
Coliformi fecali (UFC/100 mL)	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
++ Parametro non richiesto dalla normativa								

Tab. 4.17: Parametri monitorati per il prototipo di biofiltro e filtro anaerobico nella sperimentazione condotta in Venezuela

Per quanto riguarda la fitodepurazione, il significativo miglioramento delle rese di abbattimento della contaminazione microbiologica (coliformi fecali e totali) è al di sotto dei limiti fissati dalla normativa venezuelana per il riutilizzo dell'acqua in agricoltura per consumo umano: questo si deve, in buona parte, alla crescita delle piante dopo quattro mesi dall'implementazione della tecnologia (Figura 4.50) e all'adeguata manutenzione del sistema da parte della famiglia beneficiaria (2 adulti e 6 bambini).



Fig. 4.51: Sistema biofiltro e filtro anaerobico (settembre 2012)

Come attività aggiuntiva, è stata realizzato un orto sperimentale con irrigazione dell'acqua trattata a valle del sistema di fitodepurazione, (Figura 4.52a) e costruito un secondo sistema di fitodepurazione con materiali riciclati, (Figura 4.52 b), al fine di

abbassare i costi di investimento per la realizzazione; ciò permetterà una più facile diffusione tra la popolazione locale. Si veda inoltre la tabella 4.18 con i costi di costruzione degli impianti costruiti: primo impianto fitodepurazione, impianto filtrazione anaerobica, secondo impianto di fitodepurazione (materiali riciclati), orto sperimentale per riutilizzo, e costi del primo e secondo monitoraggio in Venezuela.



Fig 4.52 (a-b) Orticello sperimentale attorno al pozzetto di accumulo delle acque depurate e Sistema di fitodepurazione costruito con materiali riciclati

COSTI DI COSTRUZIONE E MONITORAGGIO IN VENEZUELA	EURO (1 € = 5,75 Bolivar Fuerte)
Costo primo impianto fitodepurazione (Marzo 2012)	600
Costo impianto filtrazione anaerobica (Marzo 2012)	300
Costo secondo impianto di fitodepurazione (materiali riciclati) (Settembre 2012)	100
Costo dell'orto sperimentale per riutilizzo dell'acqua (Settembre 2012)	50
Costo primo monitoraggio fisicochimico microbiologico (Aprile 2012)	1300
Costo secondo analisi fisicochimico microbiologico (Settembre 2012)	800

Tab. Costi di costruzione e monitoraggi degli impianti in Venezuela

4.5 CONCLUSIONI

- ✓ I sistemi di fitodepurazione e filtro anaerobico sono stati costruiti in parallelo, presso l'abitazione di una famiglia composta da 2 adulti e 6 bambini. L'abitazione scelta per la sperimentazione è caratterizzata da una portata media giornaliera di acqua grigia di 376 L/d. (80% trattato nel sistema di fitodepurazione, 20% trattato nel filtro anaerobico).
- ✓ I sistemi di fitodepurazione e filtrazione anaerobica, implementati sono di facile costruzione, avviamento e a basso costo; Il costo di costruzione del primo impianto di fitodepurazione è stato 600 €, del filtro anaerobico 300 €, il costo secondo impianto di fitodepurazione (materiali riciclati): 100 €.
- ✓ La fitodepurazione e il filtro anaerobico rimuovono efficacemente inquinanti chimici quali BOD₅, COD, N_{TOT} e P_{TOT}; consentono anche buoni rendimenti di rimozione dei parametri microbiologici.
- ✓ È stata condotta un'ultima sperimentazione in Venezuela a settembre 2012; dai risultati è emerso, dopo quattro mesi di regolare funzionamento, che per il sistema di fitodepurazione, i parametri microbiologici che, durante la prima sperimentazione in loco, erano risultati critici, soddisfano sia i limiti per il riutilizzo delle acque grigie trattate in irrigazione, sia quelli per un eventuale riutilizzo agricolo.
- ✓ La tecnologia di fitodepurazione e filtrazione anaerobica risultano adatte al contesto latinoamericano e, in generale, alla quasi totalità delle zone urbane periferiche e delle aree rurali dei PVS, caratterizzate da una mancanza di sistemi di raccolta e/o trattamento delle acque grigie.

CAPITOLO V. CONCLUSIONI GENERALI

- ✓ Le zone periferiche e rurali dei Paesi in Via di Sviluppo (PVS) sono spesso caratterizzate da una generale mancanza di sistemi di raccolta e/o trattamento delle acque grigie. Corrette pratiche di trattamento e gestione di queste acque permetterebbero una riduzione delle problematiche sanitarie e ambientali, cioè un miglioramento delle condizioni di vita nella popolazione: infatti, tra i maggiori problemi che provocano sulla salute umana, si possono ricordare patologie quali malaria, dengue e diarrea.
- ✓ Il trattamento/gestione delle acque grigie è una tematica molto importante dal punto di vista della ricerca scientifica, finalizzata all'individuazione di tecnologie appropriate; questo tema ha avuto uno sviluppo progressivo d'informazione che ha permesso di approfondire gli aspetti quantitativi, qualitativi, normativi e le possibili tecnologie di trattamento, smaltimento e riutilizzo.
- ✓ Il primo passo della ricerca è consistito nell'inquadramento territoriale ambientale, effettuato all'inizio della ricerca per il quartiere di Moscù II (Ciudad Guayana, Venezuela); tale analisi ha evidenziato la presenza di numerose e diverse problematiche ambientali, tipiche delle periferie delle grandi città dei Paesi in Via di Sviluppo. Questo inquadramento risulta di fondamentale importanza per la scelta degli strumenti metodologici con cui affrontare il problema, considerando anche le esigenze della comunità locale (che, all'inizio del lavoro, aveva individuato proprio nella problematica delle acque grigie il tema più sentito).
- ✓ Come strumento metodologico è stata effettuata un'analisi multi-criteria (AMC), che ha permesso di valutare alcune tecnologie appropriate come possibili soluzioni alla problematica ambientale del quartiere di Moscù; tale analisi è avvenuta secondo un approccio integrato, tenendo conto cioè della multidisciplinarietà dell'intervento, e considerando le esigenze di tutti gli attori coinvolti (comunità e partner locali, SVI, CeTAmb). Da questa analisi, la fitodepurazione e la filtrazione anaerobica risultano essere le più appropriate per il caso in esame, in quanto sono di facile costruzione, avviamento e a basso costo.
- ✓ La sperimentazione, avvenuta sia in laboratorio in Italia che in loco, ha evidenziato come la fitodepurazione e il filtro anaerobico rimuovano efficacemente sia inquinanti chimici che parametri microbiologici, con rendimenti medi di depurazione che si sono attestati (rispettivamente per la fitodepurazione e il filtro anaerobico) intorno a: 87% e 94% per il BOD₅, 96.7% e 97.3% per il COD, 62% e 79% per il N_{TOT} e 63% e 66% per il P_{TOT}.
- ✓ Per quanto riguarda i parametri microbiologici, i rendimenti sono risultati simili tra i due trattamenti per i Coliformi Totali (98%), mentre rese migliori sono state raggiunte con la fitodepurazione relativamente a Coliformi Fecali, Salmonella ed E. coli, con rendimenti rispettivamente di 99,9%, 99% e 98,8% a fronte di rimozioni del 99,6%, 97,5% e 97,5% ottenute per gli stessi parametri con il filtro anaerobico. Soltanto il trattamento di fitodepurazione è risultato compatibile con il riutilizzo dell'acqua trattata in agricoltura per il consumo umano, rispettando i limiti della norma venezuelana, dopo quattro mesi di regolare funzionamento.

- ✓ Dal punto di vista dell'apprezzamento da parte della popolazione, il trattamento di fitodepurazione ha avuto anche un riscontro positivo della comunità locale, a differenza del filtro anaerobico che è risultato di difficile accettazione principalmente a causa delle maleodorazioni. Inoltre, il comitato che si occupa delle tematiche ambientali del quartiere si è fatto carico di garantire la corretta gestione, inclusa la manutenzione ordinaria ed eventualmente straordinaria dell'impianto di fitodepurazione, in modo da ottenere gli obiettivi prefissati in sede sperimentale.
- ✓ Concludendo, lo schema impiantistico ottimale per la gestione delle acque grigie è risultato essere composto da un trattamento primario (trappola oli e grassi), seguito da un impianto di fitodepurazione. Tale schema permetterebbe alle famiglie di trattare le acque grigie uscenti dalle case a costi contenuti, utilizzando piante e materiale disponibili in loco e di ottenere elevati vantaggi dal punto di vista ambientale grazie al trattamento di acque che, una volta depurate, possono essere riutilizzate per la pulizia della casa o per irrigare piccoli orti. Va comunque sottolineata l'importanza di programmare un monitoraggio periodico di routine, da effettuarsi con frequenza annuale, al fine di testare nel tempo le prestazioni dell'impianto di fitodepurazione e di verificare il rispetto degli standard normativi.
- ✓ Per quanto riguarda gli sviluppi futuri di questa ricerca, i principali obiettivi da raggiungere riguardano l'implementazione dell'impianto di fitodepurazione con piante vegetali originarie del posto, poiché le piante attualmente utilizzate (papiro e carex) risultano essere troppo costose in relazione al contesto analizzato e alla disponibilità economica delle utenze. Per le stesse ragioni di contenimento dei costi, si potranno anche sperimentare nuovi materiali di riempimento ricavati in loco. Infine, la pratica di riutilizzo delle acque grigie potrà essere migliorata andando a scegliere un utilizzatore finale con dimensioni più adeguate rispetto a quelle dell'orto usato in questa ricerca: come effetto indotto potrà essere anche migliorata la sicurezza alimentare del quartiere stesso.

BIBLIOGRAFIA

- Dixon, Butler & Fewkes (1999). "Guidelines for greywater reuse: Health issues", *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 13(5): 322-326
- Eriksson, Auffarth, Henze & Ledin, (2002). "Characteristics of grey wastewater" - *Urban Water*, 4(1): 85-104.
- Eriksson, Ledin & Henze (2001). "Aspects of groundwater recharge using grey Wastewater"- In: P. Lens, G. Zeemann and G. Lettinga (Editors), *Decentralised Sanitation and Reuse*, London, pp. 650.
- Otterpohl, Grottker & Lange (1997). "Sustainable water and waste management in urban areas". *Water Science and Technology*, 35(9): 121-133.
- Ottoson & Stenstrom (2003). "Faecal contamination of greywater and associated microbial risks". *Water Research*, 37(3): 645-655.
- Al-Jayyousi (2003). "Greywater reuse: towards sustainable water management". *Desalination*, 156 (2003): 181-192, 387-394.
- Christova Boal, Eden & McFarlane (1996). "An investigation into greywater reuse for urban residential properties". *Desalination*, 106(1-3): 391-397.
- Little (2002). *Graywater Guidelines*, The water conservation alliance of southern Arizona, Tucson, Arizona.
- Wilderer (2004). "Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: Some thoughts about reasons, means and needs". *Water Science and Technology*, 49(7): 7-16.
- Del Porto & Steinfeld (1999). "The composting toilet system book, 1". The Center for Ecological Pollution Prevention, Concord, 234 pp.
- Masotti & Verlicchi - "Depurazione delle acque di piccole comunità – Tecniche naturali e tecniche impiantistiche", in Hoepli (2005).
- L. Bonomo – "Trattamenti delle acque reflue". In McGraw-Hill, 2008.
- Burnat & Mahmoud (2005). "Evaluation of On-Site Gray Wastewater Treatment Plants Performance in Bilien and Biet-Diko Villages/Palestine"- Environment Protection Committee (EPC).
- Dallas, Scheffe & Ho (2005). "Reedbeds for greywater treatment – Case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America". *Ecological Engineering*, 23(1): 55-61.
- Li Fangyue, Knut Wichmann and Ralf Otterpohl, "Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses", *Science of the Total Environment* n. 407, 2009
- Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006: "Norme in materia ambientale", G.U. 14 aprile 2006, n. 88
- F. Ahmed and M. Rahman, "Water supply and sanitation – rural and low income urban communities", ITN-Bangladesh, 2003.
- S. Clark, "Effect of anaerobiosis on filter media pollutant retention", Engineer conference, Snowmass, CO, 2001
- Lina M. P. Rodriguez, "Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estrado estable", tesi di Ingegneria chimica presso l'Universidad Nacional de Colombia (2006).
- M. Borin et al. "Evaluation of *Phragmites australis* evaporation in northern and southern Italy", *Ecological engineering* n. 37, 2010
- Lina M. P. Rodriguez, "Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estrado estable", tesi di Ingegneria chimica presso l'Universidad Nacional de Colombia (2006)
- S. Knowles, "The design and theory of a basic anaerobic digester", Australia 2006
- Jefferson, Palmer, Jeffrey, Stuetz & Judd (2004). "Greywater characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse". *Water Science and Technology*, 50(2): 157-164.

- Morel e Diener (2006). “Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods”. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.
- WHO (2008) World Health Organization 2008 report: The World Health Report 2008 - primary Health Care.
- WHO (2006) – WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume IV: Excreta and greywater use in agriculture.
- Helvetas, “Water consumption in Switzerland”, 2005
- F. Ahmed and M Rahman, “Water supply and sanitation – rural and low income urban communities”, ITN-Bangladesh, 2003
- Busser S., “Studies of domestic wastewater flows in urban and peri-urban”, Thesis, ETH Zurich 2006
- Dallas, S. , “Literature review and greywater characteristics, Chapter Two”, PhD Thesis, Murdoch University, Perth, Australia, 2002
- Pircher-Cittiglio “Catalogo”, 2009
- Corea H, “Appropriate disposal of sewage in urban and suburban Sri Lanka”, University of Leed, 2001
- Siegrist, Witt & Boyle (1976). “Characteristics of Rural Household Wastewater”. Journal of the Environmental Engineering Division-Asce, 102(3): 533-548.
- Schouw, Tjell, Mosbaek & Danteravanich (2002). “Availability and quality of solid waste and wastewater in Southern Thailand and its potential use as fertiliser”. Waste Management & Research, 20(4): 332-340.
- Friedler (2004). “Quality of individual domestic greywater streams and its implication for onsite treatment and reuse possibilities”. Environmental Technology, 25(9): 997-1008.
- Crites & Tchobanoglous (1998). “Small and decentralized wastewater management Systems”. Water Resources and Environmental Engineering, 1. WCB/McGraw-Hill, Boston, 1084 pp.
- Ridderstolpe (2004). “Introduction to Greywater management”, Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- Mara (2003). “Domestic wastewater treatment in developing countries, 1”. Earthscan, London, 293 pp.
- Christova Boal, Eden & McFarlane (1996). “An investigation into greywater reuse for urban residential properties”. Desalination, 106(1-3): 391-397.
- Sasse, L., “Decentralised wastewater treatment in developing countries”. BORDA, Bremen, 1998
- Dixon, Butler & Fewkes (1999). “Guidelines for greywater reuse: Health issues”, Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management, 13(5): 322-326
- L. Hernández Leal et al., Desalination 270 (2011)
- Mariana R. Aguilar, A. Cruz, E. Sanchez-Salinas, L. Hernandez, “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica”, Universidad Autonoma del Estado de Morelos (2009)
- Marianna Garfi 2008, Tesi PhD “Creazione di una metodologia multi criteria per la valutazione dei progetti di sviluppo umano”. Università di Bologna, 2008
- Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. Edited by McGraw-Hill. New York. 1980.
- Rao, R., V. Evaluating flexible manufacturing systems using a combined multiple attribute decision making method. International Journal of Production Research. Springer Verlag London, UK. 2007.
- Canada, R., and Sullivan, W.G. Economic and multiattribute evaluation of advanced manufacturing systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- CIFOR (Center for International Forestry Research). Guidelines for applying Multi-Criteria Analysis to the assessment of Criteria and Indicators. Edited by CIFOR, Jakarta, Indonesia. 1999.
- Shafran, Gross, Ronen, Weisbrod & Adar (2005). “Effects of Surfactants Originating from Reuse of Greywater on Capillary Rise in the Soil”. Water Science and Technology, 52(10-11): 157-166

- Feachem, Bradley, Garelick & Mara (1983). "Sanitation and Disease; Health Aspects of Excreta and Wastewater Management (World Bank Studies in WS & S, 3)". John Wiley & Sons - Wiley-Interscience Publications, 501 pp.
- Mara (2003). "Domestic wastewater treatment in developing countries, 1". Earthscan, London, 293 pp.
- Bino, (2004). "Greywater Reuse for Sustainable Water Demand Management", International Water Demand Management Conference, Amman, Jordan.
- Friedler (2004). "Quality of individual domestic greywater streams and its implication for onsite treatment and reuse possibilities". Environmental Technology, 25(9): 997-1008.
- Von Sperling & Chernicharo (2005). "Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions", IWA Publishing, London, 835 pp.
- Sasse (1998). "Decentralised wastewater treatment in developing countries". BORDA, Bremen, 160 pp.
- Bollettino Ufficiale n. 24/I-II del 4.6.2002, della provincia autonoma di Bolzano ""Norme per il dimensionamento di un impianto di fitodepurazione"
- Masotti & Verlicchi - "Depurazione delle acque di piccole comunità – Tecniche naturali e tecniche impiantistiche", in Hoepli (2005).
- EPA 2004. "Vegetated submerged beds and other high-specific-surface anaerobic Reactors". Fact Sheet No 5, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Metcalf, "Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse", 1991
- Jepperson Solley, "Draft Guidelines for the reuse of greywater in Western Australia, Department of environment and water of Western Australia, 2002
- "Groud water trust", Opuscolo 2005
- Madera C.A, Silvia J.P and Pena M.R, "Sistemas combinados de tratamiento de aguas residuals basados en tanque sèptico, filtro anaerobio- humedales", Universidad del Valle, Colombia
- J.C Young, "Factors affecting the design and performance of up-flow anaerobic filters", Water Science and Technologies n. 24, 1991
- Hans Brix, "Functions of macrophytes in costructed wetlands", Water Science Technologies vol. 29, n. 4, 2004
- Manuale APAT 2005. Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici.
- Kadlec e Wallance, "Tretment Wetlands", CRC Press, 2009
- R. Mainiero e M. Kazda, "Effects of Carex rostrata on soil oxygen in relation to soil moisture", Springer, 2004
- Harindra Corea (2001). "Appropriate Disposal of Sewage in Urban and Suburban Sri Lanka". PhD Thesis, The University of Leeds, Leeds, 270 pp.
- INWRDAM (2003). "Greywater treatment and reuse, Tufileh, Jordan". 100880, Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management (INWRDAM)
- "Subsurface Flow Constructed Wetlands For WasteWater Treatment – A Tecnology Assessment" – United Stetes Environmental Protection Agency (EPA), Office of Water (4204), July 1993.
- Decreto Ministeriale n. 185 del 12 giugno 2003: "regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell'art.26, comma 2, del D.lgs 152 del 1999", G.U. 23 luglio 2003, n.163
- Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006: "Norme in materia ambientale", G.U. 14 aprile 2006, n. 88
- "Normas para la clasificacion y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes liquidos" Decreto 883 de 1995 Venezuela.
- Decreto 2 maggio 2006, "Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue", G.U. 11 maggio 2006, n. 108

APPENDICE A

QUESTIONARIO – INDAGINE

CUESTIONARIO SOBRE ENCUADRAMIENTO TERRITORIAL GENERAL - FAMILIA: CETAMB -UNIBS

Fecha: _____
Estado: _____
Ciudad: _____
Barrio: _____
Nombre de Familia: _____ NO
Nombre del entrevistado: _____ NO

ENCUADRAMIENTO TERRITORIAL URBANÍSTICO

- Numero y localización de la casa en el plano.
- Características principales de la casa, materiales de construcción:

Tipo de uso: residencia. Comercio.

ENCUADRAMIENTO SOCIO-ECONÓMICO

- Actividad laboral de la familia:
- Entradas medias al año per cápita:

Composición del hogar:

- Número de personas: _____
- Número de mujeres: _____
- Número de hombres: _____
- Número de personas 0-5 años: _____
- Número de personas 6-15 años: _____
- Número de personas 16-45 años de edad: _____
- Número de personas 46 a 60 años: _____
- Número de personas mayores de 61 años: _____

AGUA POTABLE

TIPOLOGÍA DE FUENTE DE APROVISIONAMIENTO

Indicar la tipología de fuente presente en la casa:

1. Aguas lluvias.
2. Aguas de pozo
3. Aguas superficiales (Lagos, ríos, pequeñas represas, tanques)

CANTIDAD Y DESTINACION DE USO

Fuente	Cuantitativo [l/s]	Sistema de captación	Tratamiento	Distribución	Utilizo/cantidad
Lluvias					
Pozo					
Superficiales					

¿Cuál es el destino y la cantidad total de agua consumida por día por hogar según el uso de litros consumidos

Bebidas

Cocina

Baño

Lavandería

Otro especifique:

INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

¿Cómo evalúa la calidad del agua potable que tiene?

Buena Mala ¿Por qué?

Sabor

Color

Olor

Problemas

El problema es abordado adecuadamente por las partes interesadas?

0 Sí 0 No

Si no, ¿cuál es la causa en su opinión y posibles soluciones? _____

Usted está sufriendo de problemas de salud en la familia? SI NO

¿Quién?

Diarrea Disentería dolor de estómago

No sabe Otros: _____

Tipo de tratamiento a pequeña escala en casa

Ninguno 0 tela de filtración 0 cloración 0 limón 0 ebullición, filtro de cerámica 0 Otro: _____

Cuanto paga por el suministro de agua?

Fuente de agua: _____ Costo: _____

El costo del agua es alto para usted? 0 Sí 0 No hay

AGUAS RESIDUALES

SISTEMA DE TRATAMIENTO

Especificar cuáles son los sistemas para la recolección del agua residuales

- Letrina
- Pozo séptico
- Cloaca – alcantarillado
- Otro

SISTEMA DE TRATAMIENTO

Especificar cuáles son los sistemas para el tratamiento de las aguas residuales

- Pozo séptico
- PTAR
- Ningún tratamiento
- Otro

SI PRESENTA POZO SÉPTICO O LETRINA

Quien se ocupa del trabajo para desocuparlos

- Medio de vaciado de pozos usados;
- Costo.
- Sistema de drenaje utilizado:
- Periodicidad de la descarga:
- Destino final de los lodos y el agua dejando los lodos: -
- El flujo diario entre el sistema (o # de usuarios)

RESIDUOS SÓLIDOS

PROVENIENZA

Indicar las tipologías de fuentes presentes:

- Habitaciones Actividad industrial Attività commercial (quali) Cocinas y alimentarios Otros

SISTEMI DI RACCOLTA

Indicare le tipologie di mezzi utilizzati per la raccolta

- Carretti Bidón Camion Porta a porta Raccolta fronte strada Abbandonati Altro

CARATTERISTICHE MERCEOLOGICHE

Indicare ove possibile % e/o peso

- Carta Cartone Vetro Plastica Organico Metalli Stracci e tessuti Inerti Legno

PRODUZIONE PROCAPITE

Indicare la quantità pro capite prodotta..

DESTINACIÓN FINAL

Indicare il destino ultimo dei rifiuti

- Bruciati cielo aperto Depositati sul terreno Depositati in impianti specifici (discariche controllate e/o recintate) Compostaggio Recupero di frazioni (indicare quale)
- Altro

ENERGÍA ELÉCTRICA.

Características del sistema de energía eléctrica. Electrodomésticos en la casa, consumo de energía eléctrica.

Cuanto paga por el suministro de energía?

Fuente de agua: _____ Costo: _____

El costo de la energía es grande para usted? 0 Si 0 No

ENCUESTA HIDROBOLIVAR

GOBIERNO DE BOLIVAR Integración y Progreso						HIDROBOLIVAR			
CENSO GERENCIA DE GESTION COMUNITARIA									
I DATOS PERSONALES									
APELLIDOS:		NOMBRES:		PERSONA NATURAL V/D E/ <input type="checkbox"/>	C.I. N°:				
TELF:		CEL:		PERSONA JURIDICA: <input type="checkbox"/>	RIF:				
E-mail:									
II DATOS DE LA VIVIENDA									
NOMBRE M.T.A.:		DIRECCIÓN:			URB: <input type="checkbox"/>	Z.IND: <input type="checkbox"/>			
CALLE:		MANZ:	N° CASA:	Br: <input type="checkbox"/>		OTRO: <input type="checkbox"/>			
COMUNIDAD:		MUNICIPIO:		PARROQUIA:		SEC: <input type="checkbox"/>			
SECTOR:		VIA PRINCIPAL FRENTE AL INMUEBLE:			AV: <input type="checkbox"/>				
		CALLE: <input type="checkbox"/>			CARRETERA: <input type="checkbox"/>				
		VEREDA: <input type="checkbox"/>			ESC: <input type="checkbox"/>				
		OTROS INDIQUE:							
TIPO DE VIVIENDA		USO DE LA VIVIENDA		TERRENO		ACCESO		N° DE FAMILIA EN LA VIVIENDA	
QUINTA: <input type="checkbox"/>	PROPIA: <input type="checkbox"/>	RESIDENCIAL: <input type="checkbox"/>	PROPIO: <input type="checkbox"/>	PAVIMENTO: <input type="checkbox"/>	CANTIDAD DE FAMILIA: _____				
CASA: <input type="checkbox"/>		COMERCIAL: <input type="checkbox"/>	INVADIDO: <input type="checkbox"/>	DE TIERRA: <input type="checkbox"/>	TOTAL NIÑOS: _____				
APARTAMENTO: <input type="checkbox"/>	ALQUILADA: <input type="checkbox"/>	SERVICIO: <input type="checkbox"/>	MUNICIPAL: <input type="checkbox"/>	OTRO INDIQUE: _____	TOTAL ADULTOS: _____				
RANCHO: <input type="checkbox"/>		INDUSTRIAL: <input type="checkbox"/>	DESOCUPADO: <input type="checkbox"/>						
OTRO INDIQUE: _____		OTRO INDIQUE: _____	OTRO INDIQUE: _____						
III SERVICIOS									
EL AGUA LA RECIBE POR:		COMO CLASIFICA EL AGUA POTABLE		¿A QUE HORA LLEGA EL AGUA FRECUENTEMENTE: _____ s.m _____ p.m					
<input type="checkbox"/> Acueducto	CLARA: <input type="checkbox"/>	¿PAGA EL SERVICIO DEL AGUA? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/> Camion cisterna	TURBIA: <input type="checkbox"/>	EN CASO NEGATIVO ¿POR QUE? NO ESTOY INCORPORADO COMO CLIENTE <input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/> Pila pública	MALA: <input type="checkbox"/>	NO PAGO EL SERVICIO <input type="checkbox"/> NO ME SUMISTRAN EL AGUA POTABLE <input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/> Otro		LA VIVIENDA TIENE: POCETA A CLOACA <input type="checkbox"/> POCETA A POZO SEPTICO <input type="checkbox"/>							
¿CUANTO TIEMPO DURA EL ABASTECIMIENTO?		¿TIENE MEDIDOR? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		¿TIENE TANQUE O PIPOTE PARA ALMACENAR AGUA? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
CAPACIDAD DEL TANQUE O PIPOTE		CAUDAL DL AGUA: <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Poco <input type="checkbox"/> Nada		¿TIENE TAPA? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
LITROS: _____		Tiene Bomba? <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No							
NOTA: No omita ninguna información de esta planilla, en caso de dudas consulte a un representante de la M.T.A. O promotor social de HIDROBOLIVAR									

APPENDICE B
RISULTATI INDAGINE QUARTIERE MOSCÚ II

Numero	C.I.	Nombres	Apellidos	Ciudad	Comunidad	Calle	Manzana	Casa	Parroquia	Tipo de vivienda	Características de la vivienda	Uso de la vivienda	Actividad laboral familia	Numero de familias en la vivienda	Numero mujeres	numero hombres	Total ninos	Total adultos	Tipologia fuente de provisionamiento	El agua la recibe por	Calidad agua	Horario llegada agua	Tiene tanque	Tiene Tapa	Capacidad del tanque	
1	18213102	Soraída	García	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	obrero	1	2	2	5	4	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	120	
2	1022860	Melania	Caraballo	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	informal	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	7	
3	2133914	Jose Gregorio	Ribas	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	1	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	6	
4	11512376	Odet	Marquez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	0	3	1	Aguas superficiales	Acueducto	Clara	Servicio permanente	No	No	8	
5	15851313	Yelitza Josef	Fuermalor M	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	3	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200	
6	9949761	Carmen	Brito	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	informal	2	2	2	1	4	Aguas superficiales	Acueducto	Clara	Servicio permanente	Si	Si	200	
7	14634500	Yureima	Tovar	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			11	Vista al Sol	Rancho	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	1	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200	
8	11206426	Carmen	Ortega	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		10	Vista al Sol	Rancho	Paredes madera, techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	2	0	3	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
9	18337171	Olga Lisbeth	Gonzalez Ac	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			12	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	3	2	Aguas superficiales	Acueducto	Clara	Servicio permanente	Si	Si	50	
10	13392637	Lopez	Jose	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		9	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	0	1	0	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
11	115515356	Beatriz	Yepez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc piso cemental	informal	1	1	1	9	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100		
12		Ó Yetsi	Josefina	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc piso cemental	informal	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente					
13	22832020	Mileidis	Marin	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Rancho	Paredes de madera techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	2	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente				
14	16392169	Lisbeth	Centeno	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	3	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
15	18788469	Pedro	Espinosa	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	0	1	0	1	Aguas superficiales	Acueducto	Clara	Servicio permanente	No	No	17	
16	18787910	Yori	Karina	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Rancho	Paredes madera, techo de zinc	Residencial	obrero	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
17	12273084	Zulma	Rivas	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			12	Vista al Sol	Rancho	Paredes de madera techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	8	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200	
18	15001684	María del Car	Casanova	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200	
19	8348877	Griselma	Vasquez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			12	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	2	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	50	
20	15354041	Marcelina	Salina	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			12	Vista al Sol	Rancho	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	independiente	2	1	2	2	3	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	2000	
21	6614174	Miriam	Berroles	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II				Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	23	
22	4033101	Isabel	Antonia	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Jose Antonio		8	26	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	1	1	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	25
23	18214413	Aureli	Quijada	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	7	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	1	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	26
24	25278661	Belymar	Bello	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	1	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	27	
25	5884208	Ana Josefina	Espinosa	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	22	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	Construccion	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	28
26	22830365	Soleida	Carrero	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	23	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	1	4	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	29
27	5880687	Aniceta	Espinosa	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	24	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	2	1	3	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	30
28	2133914	Jose Gregorio	Ribas	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	1	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	31	
29	22830782	Marielis	Ereila	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	32	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	1	3	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	32
30	14082895	Diaz	Ana	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Jose Antonio		9	41	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	independiente	1	2	1	5	3	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	150
31	10929125	Ferminia Doris	Betancurt	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			9	Vista al Sol	Rancho	Paredes bloque techo machim	Residencial	Construccion	1	2	3	0	5	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	150	
32	25278660	Maryerlis Us	Santoiña	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			10	3	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	0	1	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100
33	15033414	Daisys	Villalba	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			9	17	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	2	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100
34	11745191	Nelly de Jesu	Valdez Salaz	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			9	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	4	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
35	4947512	Juana	García	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	21	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	obrero	1	2	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
36	11008233	Carmen	Rodriguez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	25	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	3	1	4	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100
37	11516651	Marlene	Maestre	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	20	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	Construccion	1	1	1	2	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100
38	25512908	María	Gonzalez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14			Vista al Sol	Rancho	Zinc Cemento	Residencial	independiente	2	2	4	1	6	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200
39	19719583	Luis Esteban	Marín Morales	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		8	22	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	90
40	18171848	Luciani	Fernandez F	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		10	1	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	2	3	3	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	41
41	12125364	Estil María	Urquía	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		10	4	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	0	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100
42	19890884	Rubi Greisma	Zambrano	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			9	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	3	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
43	19719398	Anianny Yan	Salazar	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Sucre		9	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	0	0	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	44	
44	12423925	Rita Emirza	Valdez Salaz	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		9	1	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	0	5	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	50
45	12004397	Belkis	Primera Yez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		8	22	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	independiente	2	2	2	5	4	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	30
46	7877914	Maribel	Mota	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		5	5	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	1	6	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	18
47	19159447	Isameli	Blanco	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14		2	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	3	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200
48	17113471	Yeismari	Valero Diaz	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		14	9	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	2	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	48
49	17957248	Freddy	Gonzalez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14			Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	independiente	1	0	1	0	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100
50	6643891	Reye	Carrero	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14		11	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo de zinc	Residencial	independiente	2	2	3	4	5	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200
51	11006562	Irene María	Morales	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		10	22	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	0	1	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	20
52	4034127	Noel	Brazon	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14			Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	0	1	0	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	52
53	16614721	Elizabeth	Salazar	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14		3	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	4	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	80
54	22830247	Yalitza	Bonilla	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14		4	Vista al Sol	Casa	Paredes bloque techo machim	Residencial	independiente	1	1	1	3	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	55
55	21248032	Yalitza	Bermudez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14		1	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	4	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	18
56	5884208	Camilo	Rivera	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II			11	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	0	1	0	1	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	No	No	56	
57	1904274	Evelin	Lopez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Las Piedras		11	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	Construccion	1	1	1	6	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	200	
58	85002800	Angel	Lopez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez	Trans 14		34	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	1	4	2	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	50
59	4337575	Felipe	Marín Gomez	Ciudad Guayana	Barrio Moscu II	Paez		10	Vista al Sol	Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	2	1	3	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
60		Miguelina		Ciudad Guayana - San Felix	Las Piedras			9		Rancho	Paredes de zinc techo de zinc	Residencial	independiente	1	1	2	2	3	Aguas superficiales	Acueducto	Turbia	Servicio permanente	Si	Si	100	
61	20852114	Dalle Ines	Mallorca	Ci																						

RINGRAZIAMENTI

- + Un Ringraziamento speciale a tutto il team di ingegneri, ricercatori, professori, tesisti e studenti che hanno e fanno parte della famiglia CeTAmb, per la sua collaborazione, compagnia e stimolo per portare avanti questa ricerca.*
- + Ringrazio per il supporto tecnico e scientifico i professori Carlo Collivignarelli, Sabrina Sorlini e Mentore Vaccari. Ed agli Ingegneri Fausta Pradini, Francesco Vitali, Matteo Papa, Luca Rondi e Riccardo Bigoni.*
- + Ringrazio gli Ingegneri Emanuele Ameglio e Stefano Cacciatori, tesisti di laurea specialistica della Università degli Studi di Pavia, che hanno creduto e lavorato tantissimo per portare a buon fine la ricerca.*
- + Allo SVI - Servizio Volontario Internazionale, per dare tutto il supporto logistico, amministrativo e finanziario per portare avanti questa ricerca, specialmente a Federica Nassini e alle volontarie SVI in Venezuela Lia, Claudia e Giovanna.*
- + Ringrazio la comunità del quartiere di Moscu in Venezuela, per la loro disponibilità, ospitalità, generosità e lavoro volontario, che è stato fondamentale per fare un buon lavoro e che mi ha fatto innamorare del popolo Venezuelano.*
- + Ringrazio a Manuel, Oswaldo, Belky, Ani e Zoleida, senza di loro non sarebbe stato possibile la costruzione e la attuale cura dei impianti costruiti.*
- + A Pedro, Hendrick e Rosa per la loro collaborazione e disponibilità in Ciudad Guayana.*
- + Alla Asociación Campesina del Valle del río Cimitarra in Colombia ACVC, per il suo contributo per realizzare la seconda fase sperimentale in Venezuela.*
- + Alla Fondazione Tovini di Brescia, per il suo contributo nel dare un supporto alla ricerca. In speciale al professore Giuseppe Mattei, che ci ha lasciato con un grande esempio di vita.*
- + Alla mia famiglia: il mio papa, fratelli, nipoti, che, nonostante la distanza dalla Colombia, sempre hanno creduto in me e mi hanno offerto un grandissimo appoggio morale e spirituale, per portare avanti il mio lavoro.*
- + A Fabio, Laura, Stefano e Sharon, una bella famiglia Bergamasca, che sempre, in tutti questi tre anni di percorso nel dottorato di ricerca a Brescia, è stata vicina a me.*