POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi risorsa idrica in Etiopia, caso studio impianto di fitodepurazione (Addis Abeba)

Relatore
Prof.ssa Mariachiara Zanetti
Co-relatore
Prof. Riggio Vincenzo Andrea

Candidato
Fabio Salvatore Gammino

A.A.2018/2019
Marzo 2019

INDICE

Introduzione 3

1. Il problema dei servizi igienico-sanitari e dell'acqua nei paesi in via di sviluppo 6

1.1 Disponibilità mondiale della risorsa idrica ed igiene 7

1.2 Diffusione malattie 12

1.3 I costi della risorsa idrica 15

1.4 Legislazione 17

2. Bacino del Nilo 19

2.1 Cenni di geopolitica del Bacino del Nilo 21

2.2 Il cambiamento climatico e gli impatti nel bacino del Nilo 22

2.3 Misure di adattamento e mitigazione 27

2.4 Reperibilità ed accuratezza dei dati 29

3. Etiopia 31

3.1 Clima e Piovosità 32

3.2 Risorsa idrica 35

3.3 Inquinamento 39

3.3.1 Fonti utilizzate 40

3.3.2 Accessibilità 41

3.3.3 Disponibilità 41

3.3.4 Qualità 42

3.3.5 Risorsa idrica per consumo umano 44

3.4 Legislazione 45

3.4.1 Parametri CES-58 46

4. Addis Abeba 49

4.1 Risorsa idrica della città 50

4.2 Fonti di inquinamento ad Addis Abeba 51

4.2.1 Rifiuti industriali 53

4.2.2 Rifiuti municipali 53

4.2.3 Rifiuti medici 55
4.3 Inquinamento dei fiumi e dei bacini idrici di Addis Abeba 55
4.3.1 La condizione dei Fiumi 55
4.3.2 Serbatoi d'acqua 59
4.4 Impatti 59
4.4.1 Impatto ambientale e sociale 59
4.4.2 Impatto economico 62
4.5 Attuale approccio alla gestione dell'inquinamento fluviale 62
4.5.1 Rifiuti liquidi 62
5. Possibili opzioni di miglioramento - Fitodepurazione 68
5.1 Descrizione del processo 69
5.2 Tipologie impiantistiche 70
5.2.1 FWS 71
5.2.2 SSF 71
5.2.3 Vantaggi e limiti SSF-HF 74
5.2.4 Trattamento primario 75
5.3 Pianificazione del sistema di trattamento 76
5.3.1 Acque reflue da trattare 76
5.3.2 Bilancio idrico 78
5.3.3 Dimensionamento dell'impianto 80
5.4 Fasi operative e manutenzione 87
6. Conclusioni 89
Bibliografia 91
ALLEGATI 95

Introduzione

La gestione ambientale ed in particolare la gestione delle risorse idriche è considerata una sfida soprattutto per i Paesi in via di sviluppo, spesso a causa della mancanza di una legislazione solida che permetta un controllo efficace sia dello smaltimento delle acque reflue che della capacità istituzionale nella pianificazione e nella gestione integrata. Per tali ragioni, la gestione della risorsa idrica è stata inclusa, dalle Nazioni Unite, prima negli **Obiettivi di Sviluppo del Millennio** (*Millennium Development Goals* o MDG, o più semplicemente "Obiettivi del Millennio") scaduti nel 2015 e sostituiti successivamente con dei nuovi obiettivi, gli **Obiettivi di Sviluppo Sostenibile** (*Sustainable Development Goals*, abbreviati in SDG). Questi ultimi sono stati compresi all'interno dell'Agenda 2030 e sono un insieme di 17 obiettivi e 169 target pensati per il futuro dello sviluppo sostenibile internazionale, validi per il periodo 2015-2030.

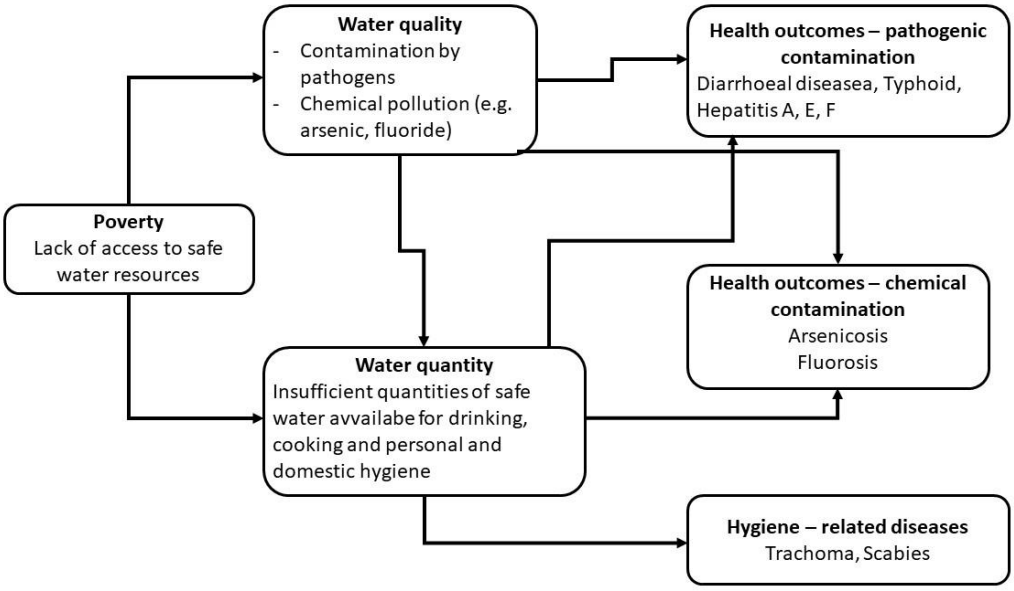
Obiettivi globali per lo sviluppo sostenibile – The Global Goals

Il richiamo dell'Agenda 2030 per un approccio integrato alle dimensioni sociali, economiche e ambientali della risorsa idrica si riflette nell'obiettivo 6, che fissa i target riguardanti gli aspetti del ciclo idrico e igienico-sanitario. Sebbene eccessivamente ambiziosi, gli obiettivi sono coerenti con le ambizioni dell'Agenda 2030 di *"porre fine alla povertà in tutte le sue forme"* e *"non lasciare indietro nessuno"*. Si riconosce anche che tali obiettivi sono altamente interdipendenti. Il target 6.1 riguarda specificamente l'acqua potabile: si pone di raggiungere, entro il 2030, un accesso universale ed equo alla risorsa idrica potabile, sicura ed economica. Il testo, che è stato attentamente elaborato, è molto più ambizioso rispetto all'obiettivo per il predecessore Millennium Development Goal (MDG). L'indicatore selezionato per il monitoraggio globale dell'obiettivo 6.1 è la

percentuale della popolazione che utilizza servizi idrici potabili gestiti in sicurezza. Per gestione sicura si intende l'utilizzo di acqua potabile provenite da una fonte sicura disponibile quando necessario e priva di contaminazione da feci e contaminazione chimica (JMP). Per essere considerata "gestita in sicurezza", la fonte deve quindi soddisfare tre condizioni:

- Accessibilità: la risorsa dovrebbe essere disponibile nei locali di utilizzo (all'interno dell'abitazione o del cortile);
- Disponibilità: l'acqua deve essere disponibile continuamente e in quantità sufficiente per soddisfare i requisiti di consumo e igiene personale, nonché di ulteriori usi personali e domestici, come cucinare e preparare il cibo, lavare i piatti e il bucato e pulizia... L'approvvigionamento deve essere continuo abbastanza da consentire la raccolta di quantità sufficienti per soddisfare tutte le esigenze, senza compromettere la qualità dell'acqua;
- Qualità: l'acqua fornita deve essere esente da contaminazione da feci o prodotti chimici specifici.

Il problema della gestione delle risorse idriche nei Paesi in via di sviluppo è spesso correlato alla scarsa conoscenza che tali paesi hanno del problema e che le poche persone che ne hanno sono spesso impotenti nei riguardi delle decisioni politiche. Attualmente in tali paesi, eccetto che nelle grandi città (più evolute culturalmente e tecnologicamente), la mancanza di risorse e infrastrutture consone spesso sono la causa dello sversamento indiscriminato e non adeguato di rifiuti ed acque reflue nell'ambiente. Questa arretratezza gestionale impatta sulla risorsa idrica utilizzata dalla popolazione e di conseguenza sulla salute umana, strettamente connessa ad essa. È evidente che i problemi connessi alla gestione della risorsa idrica sono molteplici e collegati ad una vastità di settori come il settore igienico-sanitario, alimentare, industriale, ecc.



WHO https://www.who.int/ceh/risks/cehwater2/en/

Le epidemie e le pestilenze sono esempi di problemi legati all'aspetto igienico-sanitario, queste possono generare le emergenze mediche in cui è coinvolto attualmente un terzo della popolazione mondiale. Tali emergenze possono essere dovute sia alla scarsità della risorsa idrica che alla inadeguatezza delle caratteristiche fisiche e chimiche alla base dell'utilizzo e al consumo umano.

In questo contesto si vogliono studiare le caratteristiche qualitative e quantitative della risorsa idrica dell'Etiopia partendo dalla rappresentazione della macro-condizione della risorsa idrica su scala globale e giungendo alla descrizione delle condizioni della situazione nella città di Addis Abeba capitale della regione.

Questo lavoro è stato sviluppato in collaborazione con "Hydroaid - Scuola Internazionale dell'Acqua per lo Sviluppo", associazione no profit fondata nel 2001 a Torino con una rete in crescita che conta oggi più di 1500 membri in 60 paesi del mondo, ha l'obiettivo di trasferire conoscenze sulla gestione sostenibile delle risorse idriche a i paesi in via di sviluppo. Hydroaid offre formazione gratuita a tecnici e manager che operano nel settore idrico e dell'igiene nei paesi in via di sviluppo ed emergenti.

1. Il problema dei servizi igienico-sanitari e dell'acqua nei paesi in via di sviluppo

L'acqua sicura e prontamente disponibile è importante per la salute pubblica, sia che venga utilizzata per bere, per la produzione di cibo, per uso domestico o per scopi ricreativi. Il miglioramento dell'approvvigionamento idrico, delle strutture igienico-sanitarie e una migliore gestione delle risorse idriche possono stimolare la crescita economica dei paesi e possono contribuire notevolmente alla riduzione della povertà.

Nel 2010, l'Assemblea generale delle Nazioni Unite ha esplicitamente riconosciuto il diritto umano all'acqua e ai servizi igienico-sanitari *"ogni individuo ha diritto a un'acqua sufficiente, continua, sicura, accettabile, fisicamente accessibile ed economica per l'uso personale e domestico"*.

L'acqua contaminata e le scarse condizioni igienico-sanitarie sono legate alla trasmissione di malattie come colera, diarrea, dissenteria, epatite A, tifoide e poliomielite. Servizi idrici e fognari inadeguati espongono le persone a rischi per la salute. Una gestione inadeguata delle acque reflue urbane, industriali e agricole implica la possibilità che l'acqua potabile utilizzata da milioni di persone rischi di essere pericolosamente contaminata o inquinata.

I cambiamenti climatici, l'aumento della scarsità d'acqua, la crescita demografica, i cambiamenti demografici e l'urbanizzazione rappresentano già delle sfide per i sistemi di approvvigionamento idrico. È stato stimato che entro il 2025, se si continuasse con l'attuale gestione delle risorse idriche, metà della popolazione mondiale vivrà in aree soggette a stress idrico. Il riutilizzo delle acque reflue sta diventando, quindi, sempre più rilevante, ad esempio vi è l'aumento dei paesi che utilizzano tali acque per l'irrigazione, bisogna considerare però che questa pratica, se fatta in modo incontrollato senza un corretto trattamento delle acque reflue, pone gravi rischi per la salute. La scelta delle fonti di acqua potabile e per l'irrigazione continuerà ad evolversi, con una crescente dipendenza dalle acque sotterranee, specialmente provenienti da falde profonde, e da fonti alternative, come le acque reflue. Inoltre, l'impatto dei cambiamenti climatici porterà maggiori fluttuazioni nella quantità e disponibilità temporale di acqua piovana da raccogliere e di conseguenza utilizzare.

In qualità di autorità internazionale per la salute pubblica e la qualità dell'acqua, l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità o World Health Organization, WHO) guida gli sforzi globali per prevenire la trasmissione di malattie trasmesse dall'acqua, consigliando i governi sullo sviluppo di obiettivi e normative sulla salute. Lavora a stretto contatto con

l'UNICEF in una serie di settori riguardanti l'acqua e la salute, compresi i servizi igienici e l'igiene nelle strutture sanitarie.
L'OMS produce una serie di linee guida sulla qualità delle acque, comprese quelle sull'uso sicuro delle acque reflue, sull'uso sicuro della risorsa per scopi ricreativi e sull'acqua potabile. Queste ultime si basano sulla gestione dei rischi e dal 2004 le *Linee guida per la qualità dell'acqua potabile* includono la promozione di piani di sicurezza idrica per identificare e prevenire i rischi prima che l'acqua sia contaminata.

1.1 Disponibilità mondiale della risorsa idrica ed igiene

L'utilizzo della risorsa acqua è in aumento a livello mondiale in conseguenza della crescita della popolazione e dello sviluppo economico. La futura crescita della popolazione coinvolgerà in modo differente molte zone della terra, in particolare è stato stimato che più della metà della crescita prevista nel periodo 2017-2050 dovrebbe riguardare l'Africa con un aumento di 1,3 miliardi di persone (UNDESA, 2017). L'utilizzo dell'acqua negli ultimi 100 anni è aumentato di sei volte (Wada et al.,2016) con una continua crescita costante. *"In base alle stime, attualmente la domanda globale di acqua ha raggiunto all'incirca i 4600km^3 all'anno"* (Rapporto mondiale della Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche, 2018).
Uno dei problemi di maggiore impatto nei Paesi in via di sviluppo è la diffusa scarsità idrica e la difficolta ad accedere ad acqua pulita. La gravità di tali sfide può essere compresa appieno attraverso il confronto tra i prelievi di acqua ed i livelli massimi sostenibili. Una regione viene considerata a *scarsità idrica* quando il totale dei prelievi annui per uso umano rappresenta il 20-40% del totale delle risorse idriche superficiali rinnovabili a disposizione e a *scarsità idrica grave* quando detti prelievi superano il 40%.
In Figura 1.1 vengono riportati due scenari uno passato (2010) e il paragone tra la lo scenario al 2010 e una previsione futura al 2050. Lo scenario middle-of-the-road, utilizzato per questo modello, presuppone uno sviluppo mondiale secondo le tendenze e i paradigmi del passato, in modo tale che le tendenze sociali, economiche e tecnologiche non si discostino in misura significativa dai modelli storici.

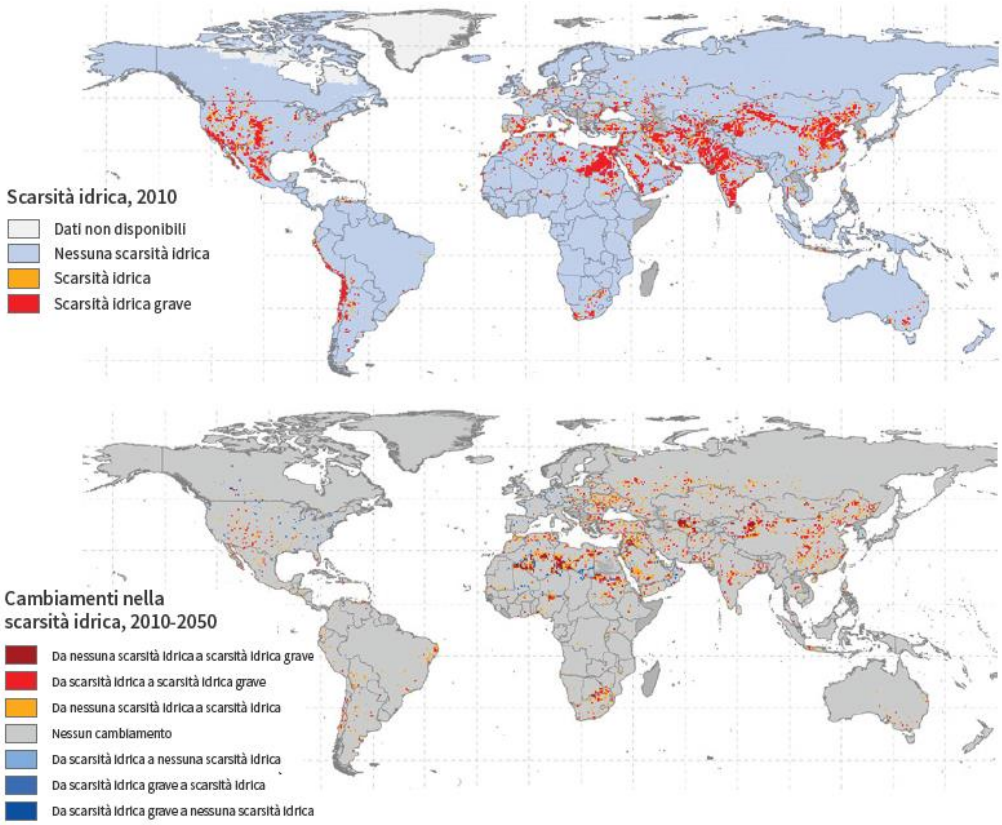


Figura 1.1 - Scarsità idrica fisica nel 2010 (in alto) e cambiamenti previsti della scarsità idrica entro il 2050 (in basso) in base allo scenario middle-of-the-road - Rapporto mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche 2018

Il livello di prelievi mondiale, come detto in precedenza, già prossimo al livello massimo sostenibile, si attesta a 4600 km^3 l'anno (Gleick e Palaniappan, 2010; Hoekstra e Mekonnen, 2012). Tale problema è collegato ad un altro, anche esso di grande importanza, nonché il problema dell'igiene e della sanità connessi all'acqua. "*A partire dagli anni 90 i livelli di inquinamento dell'acqua hanno subito un aumento in quasi tutti i fiumi dell'Africa, Asia e Ameria Latina"* (UNEP, 2016a). Tra i principali problemi che la comunità globale deve affrontare vi è quello di valutare se le popolazioni hanno a disposizione adeguati servizi idrici e fognari, per poter successivamente valutare le zone di intervento di tali servizi. Non è tuttavia facile capire dove sta la linea di disgiunzione tra buoni servizi idrici e servizi idrici non adeguati.

Gli incrementi più consistenti dell'esposizione a sostanze inquinanti si verificheranno probabilmente nei paesi a basso reddito, principalmente in ragione della maggiore crescita economia e della popolazione, soprattutto in Africa (UNEP, 2016a). Inoltre, la natura transfrontaliera della maggior parte dei bacini fluviali, implica che i problemi in termini di qualità della risorsa idrica potranno essere risolti solamente attraverso la cooperazione regionale.

In passato molti enti che si occupano di generare statistiche e banche dati sulla qualità dell'acqua si sono imbattuti in varie problematiche come:

- Scarsa qualità di dati, spesso ricavati da autoletture, sondaggi effettuati utilizzando procedimenti non standardizzati;
- Dati provenienti da differenti sondaggi senza specifiche informazioni di ricerca;
- Statistiche non correlabili alla condizione economica individuali delle famiglie;
- Sondaggi effettuati senza multidisciplaniertà da cui ne consegue l'impossibilità di correlare i dati ad altri settori.

L'anno 2008, scelto dall'WHO e da UNICEF come "International Year of Sanitation", ha avuto come maggiore output il "Joint Monitoring Report" in data 17 luglio 2008. Questo report è focalizzato sull'importanza dei sistemi sanitari nei paesi in via di sviluppo.

Spesso le famiglie nei paesi in via di sviluppo non hanno a disposizione servizi igienici privati, ad esempio in alcuni paesi è ancora in utilizzo il sistema di "open defecation". Ogni comunità deve scegliere quale tecnologia o implementazione, riguardante la salute pubblica, è più consona e/o conveniente per provvedere alla necessità del popolo anche in relazione alla disponibilità economica e alla condizione culturale locale. Questo richiede l'analisi di molti fattori come quello culturale, gli stili di vita e la disponibilità ad accettare il cambiamento di condizioni ed abitudini insite nello stile di vita locale.

Per dare un'idea della situazione mondiale e dei paesi in via di sviluppo, vengono riportate di seguito delle rappresentazioni grafiche ricavate dal "Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene, 2017" (JMP) eseguito dal WHO in collaborazione con UNICEF. Tale programma ha prodotto stime regolari dei progressi nazionali, regionali e globali riguardanti l'acqua potabile, i servizi igienici e la salute (WASH) dal 1990, di cui vengono di seguito riportate le situazioni globali al 2015. Il JMP era responsabile del monitoraggio dell'obiettivo, 2015 Millennium Development Goal (MDG), 7c5 ed è ora responsabile del monitoraggio dei progressi verso gli Obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) del 2030 relativi all'acqua potabile, ai servizi igienico-sanitari e all'igiene (Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene, 2017 – WHO).

Nell'ultimo JMP (2015) è stato rilevato che 181 paesi hanno raggiunto una copertura superiore al 75% con almeno servizi di base per l'acqua potabile, 7 persone su 10 utilizzano servizi idrici potabili gestiti in modo sicuro. Al 2015 il 71% della popolazione mondiale (5,2 miliardi di persone) ha utilizzato servizi idrici potabili gestiti in sicurezza (disponibile quando necessario e privo di contaminazioni) di questi una persona su tre che utilizza servizi di acqua potabile gestiti in modo sicuro (1,9 miliardi) vive in zone rurali. Tuttavia, viene evidenziato che 844 milioni di persone sono ancora prive di un semplice servizio di

gestione e utilizzo di acqua pulita. Altri dati interessanti che si collegano a quelli precedenti sono relativi alla fruibilità della risorsa in termini di distanza tra il punto di utilizzo e il punto di raccolta, in particolare l'89% della popolazione mondiale (6,5 miliardi di persone) ha utilizzato almeno un servizio di base entro 30 minuti tra andata e ritorno per raccogliere l'acqua d'altro canto sono 263 milioni le persone che impiegano più di 30 minuti per il viaggio di andata e ritorno. Rimane sempre rilevante l'utilizzo di acque da fonti idriche superficiali, utilizzate ancora da 159 milioni di persone, di cui il 58% si ritrova nell'Africa sub-sahariana.

In Figura 1.2 viene rappresentato la distribuzione mondiale della percentuale di popolazione, divisa per stato, che al 2015 ha utilizzato servizi idrici di base.

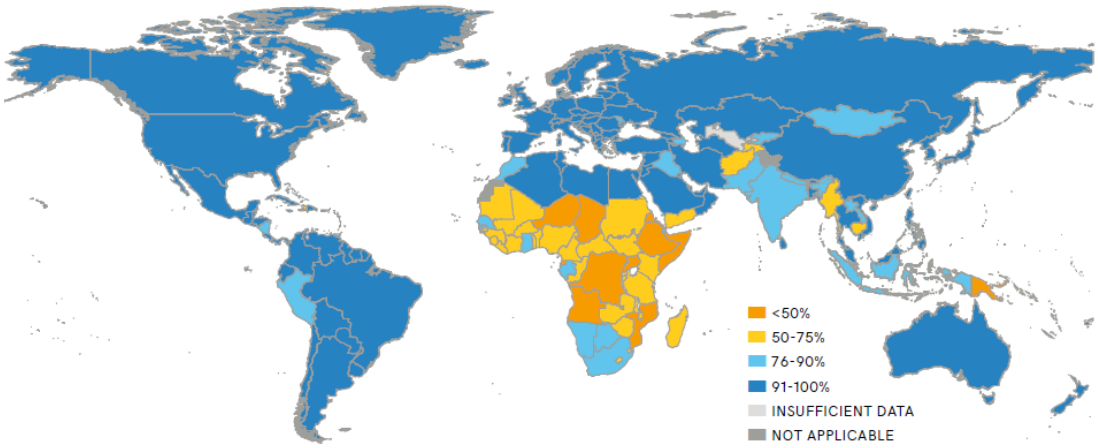


Figura 1.2 - Proporzione della popolazione utilizzando almeno servizi di base per l'acqua potabile, 2015

Nella terminologia inglese si fa riferimento a "Sanitation" e "Hygiene" la distinzione tra i due termini è la seguente:

- Sanitation è l'uso efficace di strumenti e azioni che mantengono sano il nostro ambiente. Questi includono latrine o servizi igienici per gestire rifiuti, preparazione dei cibi, stazioni di lavaggio, drenaggio efficace e altri meccanismi simili.
- Hygiene è un insieme di pratiche personali che contribuiscono alla buona salute. Include cose come lavarsi le mani, fare il bagno e tagliare i capelli e le unghie. Il lavaggio delle mani è l'attività più importante che scoraggia le diffusioni di determinate patologie.

Il JMP ha evidenziato che 154 paesi hanno raggiunto una copertura, dei servizi igienici di base superiore al 75% della popolazione. Nel 2015 due persone su cinque hanno utilizzato servizi di igiene gestiti in sicurezza. I dati disponibili ricavati non erano però sufficienti per

effettuare una stima globale della percentuale di popolazione che utilizza fosse settiche e latrine.

Il 39% della popolazione mondiale (2,9 miliardi di persone) utilizza servizi igienico-sanitari gestiti in modo sicuro in situ o con trattamenti off-site, di queste due persone su cinque (1,2 miliardi) vivono in zone rurali. 1,9 miliardi di persone (27% della popolazione mondiale) utilizzano strutture igienico-sanitarie private collegate a reti fognarie tramite e quali il refluo viene portato a trattamento. Tutte le regioni ricadenti negli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) hanno subito una diminuzione del numero di persone che praticano la defecazione all'aperto, tra il 2000 e il 2015, il numero di queste è diminuito da 1229 milioni a 892 milioni, con una diminuzione media di 22 milioni di persone all'anno, ad eccezione dell'Africa sub-sahariana, dove l'elevata crescita demografica ha portato un aumento di tale pratica da 204 a 220 milioni e in Oceania, dove la defecazione all'aperto è aumentata da 1 a 1,3 milioni. Considerando il trend attuale e tenendo in considerazione gli obiettivi di sviluppo sostenibile che mirano alla completa eliminazione di questa pratica, serve ancora un grosso impegno per porvi fine entro il 2030.

In Figura 1.3 è raffigurata la situazione mondiale dell'avanzamento dei servizi igienici di base al 2015. Per servizi igienici di base si intendono strutture che assicurano la separazione igienica degli escrementi umani dal contatto umano, queste possono includere sistemi di lavaggio delle mani, sciacquoni e latrine ventilate collegati ad un sistema fognario o ad una fossa settica e/o servizi per il compostaggio.

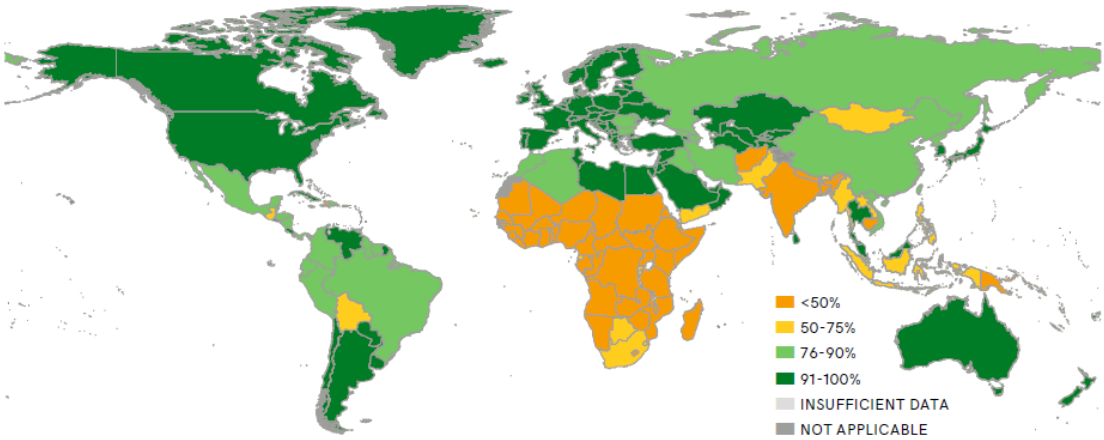


Figura 1.3 - Proporzione della popolazione utilizzando almeno servizi igienici di base, 2015

Come riportato in Figura 1.4 al 2015, la maggior parte dei paesi africani aveva meno del 50% di copertura di impianti di lavaggio delle mani, solo 70 paesi a livello globale disponevano di dati comparabili sul lavaggio delle mani con acqua e sapone, che rappresentano il 30% della popolazione mondiale. Molti paesi ad alto reddito non

dispongono di dati sufficienti per stimare la popolazione con strutture di lavaggio delle mani di base.

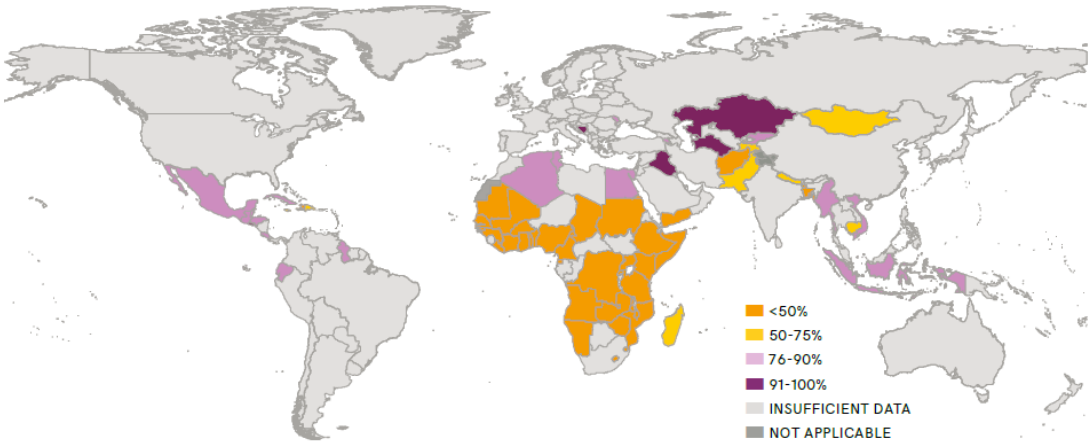


Figura 1.4 - Proporzione della popolazione con impianti per il lavaggio delle mani compresi sapone e acqua a casa, 2015

La copertura degli impianti di lavaggio varia dal 15% nell'Africa sub-sahariana, dove di queste tre persone su cinque (89 milioni di persone) vivevano nelle aree urbane, al 76% nell'Asia occidentale e nell'Africa settentrionale, ma i dati sono attualmente insufficienti per produrre una stima globale o stime per altre regioni dell'SDG. Nei paesi meno sviluppati, il 27% della popolazione ha impianti di lavaggio delle mani con acqua e sapone, mentre il 26% ha impianti di lavaggio delle mani privi di acqua e sapone. Il restante 47% non ha completamente strutture destinate a questa funzione. Nell'Africa sub-sahariana, tre persone su cinque con strutture per il lavaggio delle mani di base (89 milioni di persone) vivevano nelle aree urbane.

1.2 Diffusione malattie

L'igiene, l'approvvigionamento idrico sicuro e la buona gestione della risorsa idrica sono fondamentali per la salute globale. Migliorando i servizi igienici, la gestione delle risorse idriche e l'accesso all'acqua potabile potrebbe essere ridotta la propagazione di malattie infettive trasmissibili. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (*World Health Organization, WHO)*, garantire alle popolazioni povere l'accesso ad acqua potabile e igienicamente sicura all'utilizzo e al consumo umano migliorerebbe la qualità della vita di milioni di individui. Una buona gestione della risorsa idrica renderebbe i corpi idrici più sicuri per vari scopi come quello ricreazionale. Questo potrebbe direttamente migliorare la vita di molte persone a contatto con tali bacini oltre che avere ricadute positive sull'economia nazionale. L'importanza globale della risorsa idrica, dell'igiene e della salute ha avuto un riflesso negli **Obiettivi di Sviluppo Sostenibile**. La stima dei costi e

degli impatti delle opzioni politiche e tecniche fornisce una base obiettiva da cui partire particolarmente importante in un'area in cui sono coinvolti molti settori e attori diversi. Capire come gli interventi sono finanziati ci consente di sostenere i loro benefici. Tra le maggiori cause di morte collegate alla risorsa idrica (Figura 1.5), troviamo:

- diarrea (1.4 milioni di morti infantili ogni anno);
- malnutrizione (860 mila morti infantili ogni anno);
- infezioni da nematodi intestinali (2 miliardi di infezioni – 1/3 della popolazione mondiale);
- filariasi linfatica (25 milioni di persone seriamente indebilitate);
- schistosomiasi (200 milioni di persone);
- tracoma (5 milioni di persone con disabilità visiva);
- malaria (mezzo milione di morti annualmente).

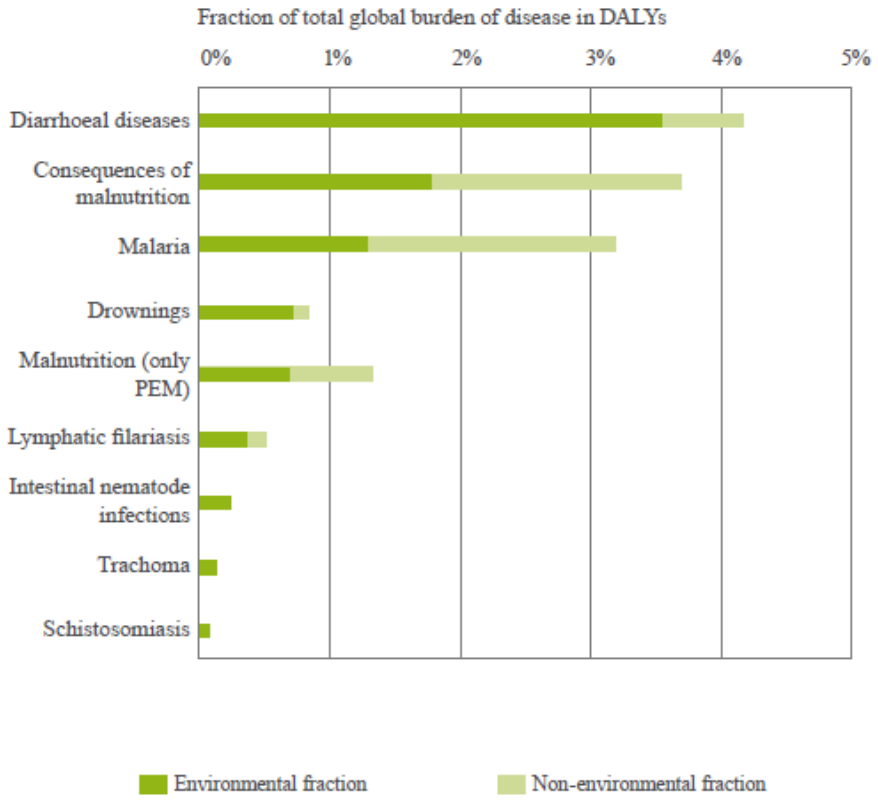


Figura 1.5 – Percentuale del carico globale delle malattie misurate in DALY (disability-adjusted life years – misura gli anni di vita persi per mortalità prematura e gli anni persi a causa di una disabilità) (WHO 2008 - Safer water, better health)

Per agire efficacemente nella prevenzione di malattie è importante valutare quanto influisce il miglioramento della gestione della risorsa idrica nel migliorare le condizioni di salute ad essa collegata.

Gli interventi sulla risorsa idrica e sui servizi igienico-sanitari interagiscono tra loro, i dati ad oggi disponibili indicano che l'impatto di ciascuno di essi può variare ampiamente a

seconda delle circostanze e delle condizioni locali. La definizione delle priorità dovrebbe pertanto basarsi sulle condizioni locali e su prove derivanti dal contesto in studio.

Incrementare la conoscenza delle norme igieniche di base contribuirebbe alla riduzione della trasmissione di malattie provenienti dell'inquinamento fecale umano nell'ambiente (sebbene altre fonti, come gli escrementi di animali, possano rimanere rilevanti), secondo migliorerebbe la gestione delle acque reflue, che se non trattate in modo adeguato, sono veicolo di trasporto di patogeni nell'ambiente e possono essere sorgenti di epidemie come la malaria. Un esempio miglioramento delle norme igieniche è l'accesso a strutture igienico-sanitarie, come delle semplici latrine, che con il semplice isolamento degli escrementi umani, i quali come detto in precedenza sono portatori di pericolosi patogeni, impedirebbe la contaminazione dell'acqua potabile e ridurrebbe possibili infezioni ed epidemie. In Figura 1.6 è riportata una semplice rappresentazione, ricavata dal Safer water, better health rilasciato dal WHO nel 2008, nella quale vengono rappresentate delle possibili vie che mettono in comunicazione l'uomo con i propri escrementi e con quelli animali se non adeguatamente smaltiti.

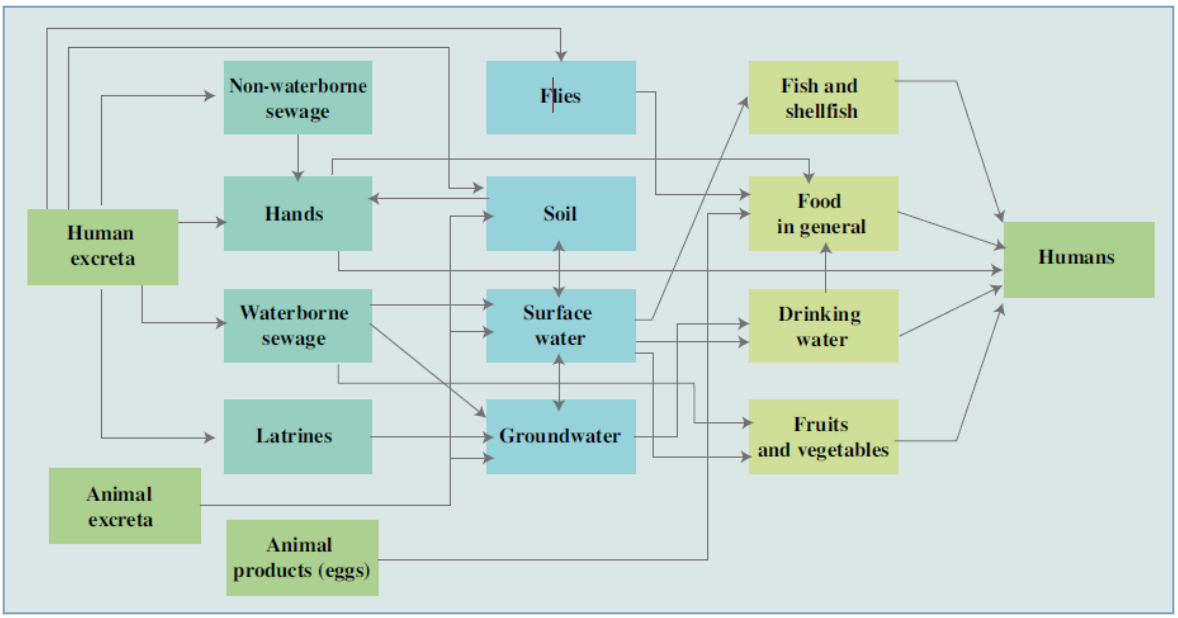


Figura 1.6 – Vie di comunicazione tra feci e uomo (WHO 2008 - Safer water, better health)

La corretta gestione ambientale riduce efficacemente anche la propagazione della malaria e di altre malattie diffuse dagli insetti. Un possibile intervento è quello di eliminare gli habitat come l'acqua stagnante e lo "screening" di porte e finestre tramite l'utilizzo di zanzariere per la protezione dalle zanzare e altri insetti.

È comunque da sottolineare che bisogna sempre considerare le condizioni al contorno del rispettivo paese e che le soluzioni "*high-tech*" non sempre sono necessariamente le migliori, interventi che funzionerebbero in aree urbane potrebbero non avere sviluppo in

zone diverse da quelle urbane, ad esempio in base al contesto già il solo utilizzo di semplici latrine potrebbe essere molto efficace ma non sempre accettato dalla popolazione. L'importanza delle misure e delle strutture igieniche si estende anche agli aspetti di privacy, dignità e della frequenza scolastica.

I miglioramenti che possono essere fatti sull'acqua potabile riguardano l'accesso, l'uso e la sua qualità della stessa da cui ne deriva la sicurezza di tale risorsa. L'aumento dell'accesso all'acqua ha effetti benefici incrementali e molteplici sulla salute, in Tabella 1-1 viene riportato un riepilogo di quali sono i diversi livelli di servizio e quali sono i relativi gradi di rischio per la salute (*Howard G, Bartram J, 2003*).

Tabella 1-1 Riepilogo del requisito relativo al livello del servizio idrico per promuovere la salute. (Domestic water quantity service level and health. Executive summary. Geneva, WHO)

Service level	Access measure	Needs met	Level of health concern
No access (quantity collected often below 5 l/c/d)	More than 1000 m or 30 minutes total collection time	Consumption – cannot be ensured Hygiene – not possible (unless practised at source)	Very high
Basic access (average quantity unlikely to exceed 20 l/c/d)	Between 100 and 1000 m or 5 to 30 minutes total collection time	Consumption – should be ensured Hygiene – handwashing and basic food hygiene possible; laundry/ bathing difficult to ensure unless carried out at source	High
Intermediate access (average quantity about 50 l/c/d)	Water delivered through one tap on-plot (or within 100 m) or 5 minutes total collection time	Consumption – ensured Hygiene – all basic personal and food hygiene ensured; laundry and bathing should also be ensured	Low
Optimal access (average quantity 100 l/c/d and above)	Water supplied through multiple taps continuously	Consumption – all needs met Hygiene – all needs should be met	Very low

l/c/d: litri/persona/giorno

Il trattamento delle acque domestiche e lo stoccaggio sicuro di queste, negli ultimi anni hanno aumentato l'evidenza che a questi sono associati significativi miglioramenti della salute umana.

1.3 I costi della risorsa idrica

Il processo decisionale in materia di ambiente, risorsa idrica e servizi igienico-sanitari, implica la partecipazione di diversi attori provenienti da differenti settori. Le richieste che concorrono per utilizzi estrattivi di acqua, provenienti dall'industria, l'agricoltura, l'uso domestico e l'ambiente stesso sono tutte legittime e devono perciò essere conciliate. Per l'accesso all'acqua potabile, molti soggetti interagiscono tra loro: istituzioni finanziarie

nazionali e internazionali, fornitori di servizi, rappresentanti dei consumatori e il settore sanitario. L'analisi costi-benefici fornisce informazioni oggettive che aiutano a supportare un miglioramento del processo decisionale e a favorire il dialogo. Tale analisi può portare al miglioramento dei servizi e di conseguenza alla riduzione della spesa che ricade sulle famiglie.

I benefici economici stimati, su scala mondiale, derivanti da investimenti adeguati sulla risorsa idrica potabile e sui servizi igienico-sanitari si presentano sotto diverse forme (*WHO 2008 - Safer water, better health*):

- per la sanità risparmi di 7 miliardi di dollari/anno per le agenzie sanitarie e 340 milioni di dollari per la popolazione;
- 320 milioni di giorni produttivi guadagnati ogni anno nella fascia d'età compresa tra i 15 e i 59 anni, oltre 272 milioni di giorni di frequenza scolastica all'anno e 1,5 miliardi di giorni "sani" per i bambini sotto i cinque anni, che insieme rappresentano un guadagno di produttività di 9,9 miliardi di dollari/anno;
- risparmio di tempo dovuto a servizi idrici e igienico-sanitari più convenienti, per un totale di 20 miliardi di giorni lavorativi all'anno, con un recupero di produttività di circa 63 miliardi di dollari l'anno;
- valore dei decessi evitati, basati su utili futuri attualizzati, pari a 3,6 miliardi di dollari l'anno.

Le misure volte al miglioramento della gestione delle risorse idriche hanno evidenziato la possibilità di conseguire guadagni economici considerevoli. Un investimento per un importo tra i 15 e i 30 miliardi di dollari americani nel miglioramento della gestione delle risorse idriche nei paesi in via di sviluppo può fruttare rendimenti annui diretti valutabili intorno ai 60 miliardi di dollari (*Rapporto 2015 delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche mondiali, UNESCO*). Ogni dollaro investito nella protezione dei bacini idrografici può permettere di risparmiare tra i 7,5 e i 200 dollari in costi per nuove strutture di trattamento e filtrazione dell'acqua (*SIWI, 2005*). Per raggiungere una copertura universale dei servizi igienico-sanitari sarebbero necessari investimenti per 53 miliardi di dollari all'anno nell'arco di un quinquennio (*Hutton, 2013*) – meno dello 0,1% del Pil mondiale del 2010, con un rendimento sull'investimento di gran lunga superiore. Nelle aree in via di sviluppo il rendimento sugli investimenti in servizi idrici e igienico sanitari si aggirerebbe secondo le stime tra i 5 e i 28 dollari per ciascun dollaro investito (*WHO, 2012b*).

L'attuazione di interventi su una scala sufficiente per avere un impatto nazionale o globale sulla salute è correlata ad una corretta comprensione delle componenti principali dei costi e delle probabili fonti di finanziamento.

1.4 Legislazione

Un importante passo da affrontare per i problemi sulla salute umana descritti in precedenza è indubbiamente l'emanazione di appropriate leggi sulle emissioni, allo scopo di proteggere la qualità delle risorse idriche. Con riferimento alla legislazione inerente all'ambiente, deve essere inizialmente chiarito che vi sono varie differenze tra la situazione nei paesi industrializzati e la situazione nei paesi in via di sviluppo. In un paese industrializzato, le leggi per la protezione ambientale sono vigenti ed esistenti da molti anni e l'opinione pubblica è diventata molto sensibile a tale problema, d'altro canto nei paesi in via di sviluppo la situazione è abbastanza più complessa, con grandi differenze in base allo stato. L'Organizzazione Mondiale della Sanità e la Banca mondiale hanno proposto standard internazionali sulla qualità dell'acqua e sui limiti di scarico. Alcuni paesi come la Nigeria e il Madagascar, hanno adottato standard nazionali. Altri come il Kenya, hanno introdotto anche degli standard regionali che sono, tuttavia, spesso incompatibili con quelli nazionali. In molti casi i paesi in via di sviluppo cercano di seguire i trend internazionali, che offrono limiti più restrittivi per le emissioni di inquinanti. Questi limiti tuttavia sono spesso non rispettati. Inoltre, è spesso difficile mantenere le performance delle infrastrutture sanitarie aggiornate con il costante aumento della popolazione urbana. In questo modo viene ad intensificarsi la discrepanza tra ciò che è stabilito dalle leggi e ciò che viene in pratica migliorato col tempo. Questa situazione è certamente dovuta alla mancanza di risorse tecnologiche e finanziarie. Un grande sforzo in campo ambientale dovrebbe essere supportato da un adeguato livello di investimenti, ma in molti casi i paesi o le imprese non hanno a disposizione le risorse per far fronte a tali richieste economiche ne consegue ad esempio l'impossibilità di aggiornamento dei sistemi per il trattamento adeguato delle acque reflue. Oltretutto sono necessarie altre competenze come le conoscenze per progettare e gestire tali sistemi, la disponibilità di pezzi di ricambio per la manutenzione e tutti gli strumenti necessari per il corretto funzionamento.

La situazione potrebbe migliorare almeno parzialmente con misure legislative appropriate. È attualmente comune ritrovare standard inadeguati, che non prendono in considerazione le caratteristiche locali del paese e quindi troppo generici per essere applicati al contesto specifico. Alcuni standard attualmente in vigore risultano essere eccessivamente restrittivi, delle volte anche al di sotto del livello minimo rilevabile dagli strumenti comunemente

disponibili nei laboratori di analisi, ne consegue che diventa difficile rispettarli e seguirli. Spesso, questa situazione è dovuta a legislazioni copiate da paesi più sviluppati e avanzati tecnologicamente, a causa della mancanza di fiducia in sé stessi, della mancanza di conoscenza o del desiderio di imitare tali paesi saltando importanti fasi dello sviluppo. Questo può capitare, anche, per errore durante il processo di trasferimento delle conoscenze tra aziende a livello internazionale che vengono consultate e non considerano fattori come le necessità locali, i reali avanzamenti tecnologici e i costi. In alcuni casi il numero di parametri da prendere in considerazione non è adeguato, delle volte è eccessivo o non rilevante per la situazione sito-specifica, per di più il monitoraggio diventa eccessivamente dispendioso o impraticabile dai laboratori locali a causa della mancanza di strumentazione di adeguato livello tecnologico. Altre volte invece i parametri studiati, non sono sufficienti per garantire la sicurezza umana oppure non è specificato come i dati di un eventuale monitoraggio devono essere processati e trattati (per esempio se si deve fare riferimento a valori medi o al massimo valore ricavato) e questo può condurre a differenti interpretazioni, discordanti tra di loro che causano errori di valutazione. Infine, deve essere enfatizzato che in molti casi, non vi sono enti adibiti al controllo e non vi è nemmeno la possibilità di attribuire delle responsabilità, ciò porta inevitabilmente a non tenere conto delle limitazioni imposte e a continuare a scaricare in modo incontrollato acque di scarico inquinanti civili e industriali. Per far fronte a questa situazione, un possibile modo di procedere è senza dubbio quello di stabilire standard iniziali che possono essere rispettati più facilmente e che tengano maggiormente in considerazione le caratteristiche zonali, in modo da ottenere in breve tempo un aumento, anche se lieve, della protezione delle risorse ambientali. In una seconda fase potrebbe essere implementato un sistema di standard più restrittivi, sempre in relazione ad un possibile miglioramento delle condizioni economiche e all'accrescimento della conoscenza tecnica, tutto questo a seguito quindi di un processo di sviluppo del paese.

2. Bacino del Nilo

Il bacino del Nilo rappresenta una delle situazioni più complesse e articolate in termini di gestione e governance delle risorse idriche di un bacino transfrontaliero dalle enormi dimensioni. Per comprendere la complessità del caso Nilo è sufficiente richiamare la dimensione di questo bacino idrico e il numero di paesi, e di conseguenza di comunità, che vi si affacciano beneficiando delle sue acque.

Il Nilo è infatti uno dei fiumi più lunghi al mondo (6650 km di cui 1600 km in Egitto), con un bacino idrografico che copre una superficie pari a 3.112.368 km^2, pari a circa il 10% della superficie dell'Africa e quasi 11 volte l'Italia (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Bacino del Nilo

Dalle sorgenti al delta, il suo vastissimo bacino idrografico coinvolge ben 11 Paesi: Etiopia, Eritrea, Burundi, Rwanda, Tanzania, Kenya, Repubblica Democratica del Congo, Uganda, Sud Sudan, Sudan ed Egitto. La popolazione totale negli 11 stati nel 2012 era di 437 milioni di persone di cui circa 238 milioni risiedono all'interno del bacino, di tale

porzione il 72 % è rurale. La distribuzione, al 2008, della popolazione totale per stati divisa per popolazione rurale e urbana è riportata in Figura 2.2.

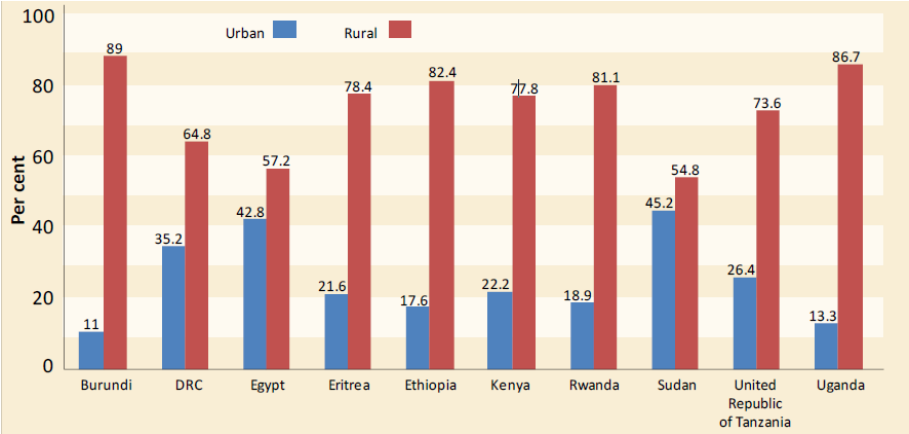


Figura 2.2 – distribuzione della popolazione negli stati del Bacino, 2008

Le acque che alimentano il Nilo provengono da 3 zone geografiche e climatiche distinte:

1. l'altopiano etiopico
2. i laghi equatoriali
3. il bacino di Bahr el Ghazal.

Il rifornimento idrico annuale della regione ammonta a 400 miliardi di m^3, tuttavia, ciò che annualmente raggiunge il confine sudanese varia soltanto tra i 20 e i 22 miliardi di m^3. Sull'altopiano etiopico, il Lago Tana contribuisce all'80% della portata media del Nilo Azzurro e ne costituisce la principale fonte perenne. La maggior parte delle precipitazioni, insieme al 50% del flusso che entra nel Sudan dai laghi equatoriali, si perde nella regione dei Sudd, che si trova nel sud del paese.

Il sistema equatoriale superiore del Nilo è caratterizzato dallo stoccaggio naturale perenne nei laghi, specialmente nel Lago Vittoria e nella regione dei Sudd nel Sudan. Le variazioni stagionali sono notevolmente regolate da questi sistemi di immagazzinamento naturali e forniscono i necessari approvvigionamenti di acqua.

Il bacino comprende una delle più grandi aree paludose del mondo e rappresenta un sistema ecologico di grande importanza e varietà che per la sua dimensione e interconnessione pone immediatamente il problema dell'uso della risorsa idrica tra i diversi paesi e le comunità che vi si affacciano. Tale questione è particolarmente importante se si considera che in questa zona il contesto socioeconomico, culturale e demografico è tra i più complessi a livello globale.

2.1 Cenni di geopolitica del Bacino del Nilo

Nel bacino del Nilo le relazioni tra i Paesi co-rivieraschi sembrano contraddire l'assunto che vede i Paesi a monte in posizione di vantaggio su quelli a valle. Il Nilo infatti sfocia in Egitto dopo aver attraversato ben 10 stati. Storicamente, l'Egitto ha esercitato un controllo quasi esclusivo su questo fiume, facendo leva su diritti storici considerati non negoziabili e precludendo agli altri Paesi la realizzazione di progetti che potrebbero limitare i quantitativi idrici prelevabili dall'Egitto stesso.

L'iniziativa del bacino del Nilo (NBI) fu fondata dal Consiglio dei Ministri degli affari idrici (Nile-COM) degli stati del bacino il 22 gennaio 1999. La visione dell'NBI è "raggiungere uno sviluppo socioeconomico sostenibile attraverso l'equo utilizzo delle risorse idriche del bacino del Nilo". Nel corso degli anni, la realtà è che i numerosi accordi di collaborazione sull'uso delle risorse del Nilo sono stati carichi di sospetto e mancanza di volontà politica. A tal fine, l'NBI ha l'obiettivo di creare capacità/conoscenze, incoraggiare la condivisione di informazioni e attuare progetti comuni con il coinvolgimento di tutte le parti interessate, al fine di promuovere la fiducia reciproca tra i paesi del bacino.

La contesa sul Nilo è rimasta per anni sopita a causa dell'arretratezza di molti Paesi rivieraschi e della loro instabilità politica, ma negli ultimi decenni alcuni fattori hanno alterato gli equilibri all'interno del bacino. Si registra infatti un crescente aumento della pressione sul bacino, sia dal punto di vista demografico (7 degli 11 undici stati rivieraschi prevedono un raddoppio della loro popolazione in 20-25 anni) che da quello economico, dovuto alla crescita dei Paesi a monte, storicamente meno sviluppati rispetto ai più solidi a valle, ma anche all'esigenza di alcuni Paesi della fascia equatoriale di incrementare la produzione di energia idroelettrica per migliorare le condizioni di vita delle popolazioni e avviare processi di sviluppo.

A tutto questo si aggiunge il deterioramento del quadro climatico che espone l'area a sempre più frequenti periodi di siccità con gravi impatti sull'agricoltura e conseguente aumento dell'insicurezza alimentare. Inoltre, i grandi progetti idrici nazionali alimentano un gioco a somma zero, in cui tutta l'acqua prelevata da un Paese viene sottratta agli altri, con il risultato di aumentare la pressione sulle risorse e la conflittualità tra i Paesi dell'area. Sono questi tutti fattori che elevano il potenziale di destabilizzazione legato al controllo delle acque del Nilo.

2.2 Il cambiamento climatico e gli impatti nel bacino del Nilo

Il cambiamento delle condizioni climatiche registrato in questi ultimi anni sta destando particolari preoccupazioni circa il suo impatto negativo su tutto il pianeta, ostacolando i progressi verso il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (2015 – 2030) e, in particolare, di quello della riduzione della povertà e della fame assicurando la sostenibilità ambientale. Queste sfide rappresentano un importante e difficile banco di prova per molti Paesi in via di sviluppo dove, le già precarie condizioni ambientali rendono difficile la vita, e dove il settore agricolo non ha pari in termini di sensibilità agli eventi climatici, soprattutto nelle aree caratterizzate da bassi redditi e da una forte incidenza di popolazione sottonutrita. Com'è facile intuire, in questi luoghi del pianeta, il cambiamento climatico impatta significativamente sull'ambiente, sull'uomo e su tutte le attività collegate.

L'ultimo rapporto *"Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR15)"* dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ha descritto i principali effetti del cambiamento climatico, quali:

- incremento delle temperature: le temperature globali medie sono aumentate di 0,8 °C nel corso dell'ultimo secolo. La curva di temperatura della Regione del Nilo mostra trend positivo, con un incremento della temperatura superiore a 1 °C negli ultimi 30 anni, come riportato in Figura 2.3.

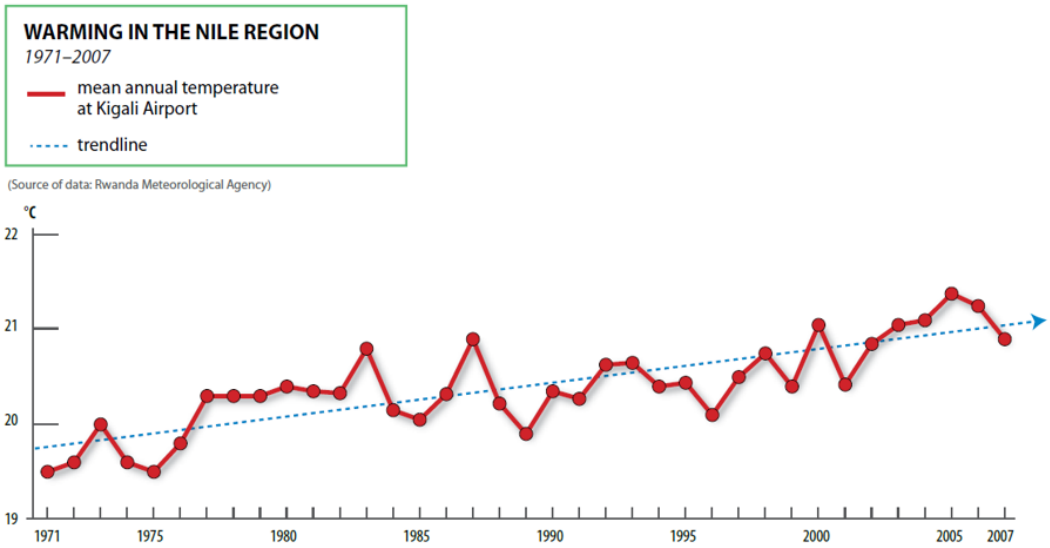


Figura 2.3 - Andamento delle temperature nella Regione del Nilo (fonte: Rwanda Meteorologiacal Agency)

- variazione delle precipitazioni: in ampie parti del bacino del Nilo si registra un aumento della variabilità temporale delle precipitazioni, con eventi estremi sempre più intensi e violenti e con la stagione delle piogge che diventa più breve e molto

irregolare, rendendo molto difficile per gli agricoltori pianificare il calendario agricolo. La già scarsa dotazione idrica associata alle limitate capacità di stoccaggio dell'acqua è uno dei problemi che maggiormente affligge i piccoli agricoltori di tante zone del bacino, per i quali la mancanza di sistemi di stoccaggio può fare la differenza tra una situazione di abbondanza e una di carestia.

- aumento del livello del mare: il basso delta del Nilo è molto vulnerabile a un innalzamento del livello del mare. Pur coprendo solo il 2,5% della superficie terrestre egiziana, è densamente popolato e ospita oltre un terzo della popolazione del Paese. I ricchi terreni arabili forniscono tra il 30% e il 40% della produzione agricola egiziana. Il livello globale del mare è aumentato a un tasso medio di 1,7 mm all'anno durante il XX secolo e si stima che un innalzamento del livello del mare di 1 metro possa causare danni molto consistenti. Secondo gli esperti, infatti, l'impatto dell'innalzamento del livello del mare si manifesterà non tanto in termini di estensione del territorio interessato dalla sommersione, quanto in termini di percentuale di popolazione colpita e costretta a spostarsi da delta del Nilo (circa 6,1 milioni di persone), di diminuzione del PIL, di distruzione di centri urbani, zone umide e aree coltivabili (4.500 chilometri quadrati di terra coltivabile). L'Egitto, tra i paesi dell'area, è destinato a subire le maggiori perdite in termini di Pil (6-16 %), di popolazione colpita (10-20 %), di aree urbane (6-12 %) e agricole (15-35 %) interessate, perché nel Delta del Nilo risiede un'elevata percentuale di popolazione urbana e in quest'area si concentrano le principali attività economiche del Paese, soprattutto l'agricoltura (Figura 2.4).

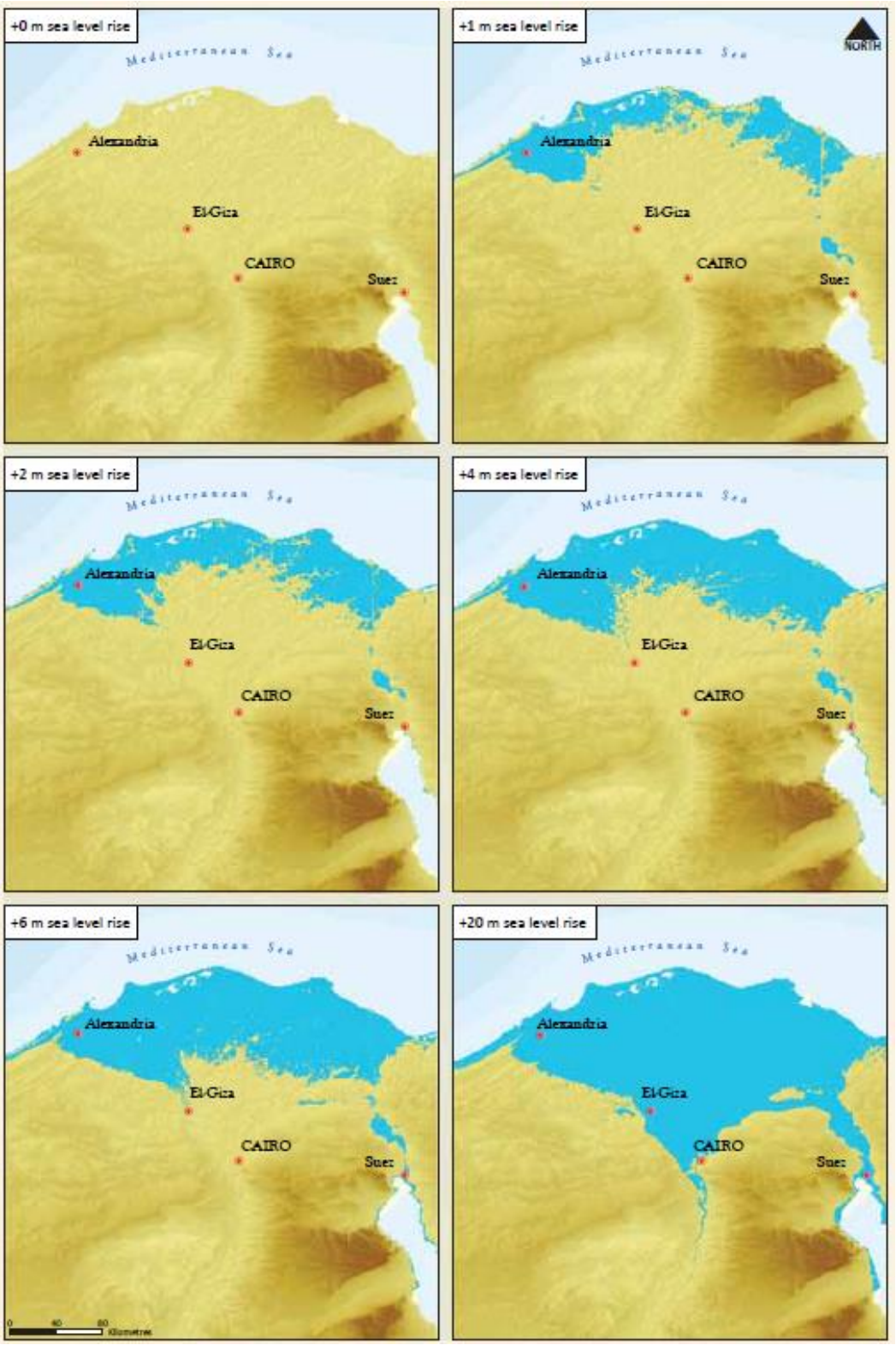


Figura 2.4 - Proiezioni del possibile aumento del livello del mare nel delta del Nilo (fonte: Simulated from the interactive map on relative levels of flooding on the Nile delta as a result of sea level rise, http://geology.com.)

Gli effetti del cambiamento climatico sono tutti importanti fattori che impattano sul ciclo idrologico e sulla connessa disponibilità idrica. Molti paesi del bacino sperimentano da anni un sempre maggiore stress idrico e i cambiamenti climatici non faranno altro che peggiorare questa situazione: l'acqua è infatti la risorsa che più risente dei cambiamenti del

clima, e attraverso la quale il cambiamento climatico influenza maggiormente le attività dell'uomo.

Numerosi sono i problemi relativi agli impatti che i cambiamenti climatici hanno sulla risorsa idrica nel bacino del Nilo:

- siccità persistente e desertificazione: negli ultimi 2 decenni, a causa del progressivo innalzamento delle temperature, molte zone del bacino sono state colpite da una siccità persistente, che ha afflitto il continente africano dal Sahel, attraverso la fascia della savana in Sudan, fino all'Etiopia nella parte orientale. La perdita di umidità dei terreni, dovuta all'aumento della evaporazione che non viene compensata dalle sempre più scarse precipitazioni, innesca in molte aree del bacino, fenomeni di degrado e di danni ai terreni connessi con l'erosione risultante dallo sfruttamento eccessivo della foresta e dalla distruzione della vegetazione, cambio di destinazione d'uso dei terreni, intensificazione dell'agricoltura e dell'allevamento, tutti processi che interagendo tra loro rappresentano una grave minaccia per le popolazioni autoctone e in particolare negli altopiani etiopici;
- declino della produzione: nei tratti più bassi del bacino, la costruzione di dighe ha portato alla riduzione della fornitura di limo e alla conseguente erosione del fronte del delta verso il mare. L'indebolimento della cintura di sabbia protettiva, combinato con livelli d'acqua più alti, aumenterà la frequenza degli eventi di piena. Il problema delle inondazioni è aggravato dal cedimento del terreno - attualmente stimato tra 1 e 5 mm all'anno - a causa dell'aumento dell'estrazione delle acque sotterranee per l'agricoltura e della riduzione del deposito di limo. L'aumento del livello del mare accelera ulteriormente l'intrusione di acqua salata nelle falde, aumentando la salinità del suolo e rendendo le terre precedentemente fertili inadatte all'agricoltura. Inoltre, i tratti superiori del bacino soffrono a causa dell'assenza di chiare e costanti politiche di irrigazione che definiscano il ruolo dell'irrigazione in queste aree, delle competenze tecniche insufficienti e dei vincoli finanziari e di capitali;
- deterioramento della qualità dell'acqua: tale serio problema, che si sta manifestando come una minaccia alle risorse idriche del bacino, attraverso l'erosione nei bacini pluviali superiori, genera seri fenomeni di sedimentazione nei tratti più bassi. D'altra parte, le acque di scolo domestiche, industriali ed agricole in Egitto stanno minacciando l'impiego e la disponibilità dell'acqua, così come la salute umana.

La crisi climatica e l'elevata sensibilità ai cambiamenti del clima di settori economici chiave come l'agricoltura (irrigua e pluviale), ma anche l'allevamento di bestiame e la produzione di energia idroelettrica , insieme ai gravi problemi economici e all'alto tasso di crescita della popolazione, sono una minaccia molto seria per le popolazioni che vivono nel bacino, rischiando di influenzare significativamente il loro sostentamento e la loro sicurezza alimentare, favorendo un serio degrado ambientale di tutte le risorse naturali del bacino.

L'acuirsi di tutte queste problematiche legate alle risorse idriche, determina sempre più spesso per intere comunità l'impossibilità di trovare sul proprio territorio le risorse necessarie per il soddisfacimento dei bisogni elementari, per una vita sicura e dignitosa e quindi l'incapacità di adottare strategie di resilienza e adattamento. Tali popolazioni possono essere costrette a migrare per sopravvivere, andando spesso a confluire in altre zone fuori e dentro il proprio Paese. Dalle zone più interne, grandi masse di persone muovono verso le grandi città costiere, e i centri abitati più vicini al Nilo. Il risultato è la nascita di megalopoli socialmente vulnerabili e nelle quali spesso la vita risulta molto precaria per via del sovrappopolamento. Questi spostamenti nella maggior parte dei casi non fanno altro che esacerbare situazioni già difficili che possono sfociare in tensioni, oppure qualora impossibilitate nello spostarsi, intere popolazioni possono rimanere intrappolate nei propri territori restando coinvolte in dispute per contendersi le scarse risorse disponibili.

La regione del Nilo è particolarmente sensibile agli impatti del cambiamento climatico, con conseguenze che possono agire su più livelli:

- ambientale, con la diminuzione della disponibilità d'acqua, con capacità di stoccaggio di acqua pro capite in otto Paesi del Nilo inferiore a 700 metri cubi per persona all'anno, che in zone molto fragili, caratterizzate da grandi regioni aride e semi-aride con ecosistemi delicati, determina per le popolazioni colpite l'impossibilità di coltivare e soddisfare il fabbisogno alimentare giornaliero;
- economico, perché diminuendo la produzione primaria agricola, ne soffre anche l'economia di questi paesi, in cui l'agricoltura di sussistenza è ancora l'attività principale; dato quindi il grande contributo dell'agricoltura al PIL (tra il 12% e il 43%) così come l'occupazione (tra il 32% e il 94% della forza lavoro), la riduzione della produzione agricola si traduce in fluttuazioni nella crescita economica, privando l'economia di molti paesi del bacino del loro potenziale di crescita. Il settore agricolo sostiene inoltre il settore agroindustriale e contribuisce alla crescita

delle attività non agricole (sia nelle aree rurali che urbane) e al rafforzamento dell'integrazione regionale attraverso il commercio di prodotti agricoli;

- politico, perché le dispute territoriali sono uno specchio dei conflitti per l'approvvigionamento idrico;
- sociale, perché le popolazioni vittima di questa serie di eventi spesso sono portate a migrare verso altri paesi, esacerbando situazioni già difficili che possono sfociare in tensioni.

2.3 Misure di adattamento e mitigazione

Data la complessità del sistema Nilo e la forte interconnessione tra le differenti fonti idriche che ne alimentano il bacino, la questione dello sfruttamento delle acque del Nilo offre numerosi spunti di riflessione rispetto alla vasta questione delle acque transfrontaliere sia dal punto di vista geopolitico che da quello del diritto internazionale dell'acqua. Il caso nel Nilo non solleva problemi solo rispetto alla dimensione della conflittualità, ma presenta anche interessanti soluzioni cooperative e multilaterali che potrebbero essere adottate tra i paesi rivieraschi per condividere questa risorsa.

Un possibile percorso per risolvere i problemi, o almeno arrestare il loro peggioramento nel tempo, ha bisogno di promuovere una strategia dello sviluppo basata sulla conservazione: ciò che viene richiesto è un impegno e una cooperazione totali e massicci da parte di tutti i paesi del bacino.

La modifica del clima e i trend di cambiamento nello schema delle precipitazioni annuali, che potrebbero influenzare il regime della portata del bacino, rappresentano una sfida, che richiede capacità tecniche e scientifiche unite ad una cooperazione intensa all'interno del bacino.

Le dimensioni del bacino, combinate con la sua diversità culturale, politica, socioeconomica e climatica, giustificano l'applicazione del principio sussidiario, ossia consentire all'autorità competente più piccola o meno centralizzata di assumere il ruolo guida nell'attuazione delle misure di adattamento. Le comunità, i governi di livello inferiore e le autorità centrali o federali hanno tutti il loro ruolo da svolgere. Tuttavia, considerando la natura transnazionale e interconnessa delle risorse naturali del bacino, risulta indispensabile attuare misure congiunte di adattamento e mitigazione per ridurre l'effetto della variabilità delle precipitazioni e la cattiva gestione delle risorse, soprattutto quelle idriche, misure che devono essere parte integrante dei programmi di sviluppo e delle iniziative politiche esistenti.

Purtroppo, però i risultati spesso contraddittori dei modelli di previsione globali riguardanti i cambiamenti previsti nelle precipitazioni rendono molto difficile impegnarsi nell'immediato in investimenti di infrastrutture specifiche o nello sviluppo di misure di adattamento. Un approccio che risulta ragionevole è quello di prepararsi a condizioni meteorologiche più variabili rispetto a quelle attualmente registrate. Questo tipo di approccio permetterà di monitorare il clima e reagire una volta compresa la direzione e l'ampiezza dei cambiamenti climatici regionali e locali.

Come indicato nei rapporti redatti dal *Nile Basin Initiative (NBI)*, le misure per rafforzare la capacità di adattamento all'attuale variabilità climatica possono essere così riassunte:

- aumento della conoscenza e della consapevolezza delle cause e degli impatti generali dei cambiamenti climatici;
- formazione delle competenze e delle capacità istituzionali (governance);
- interconnessione dei sistemi energetici e sviluppo di fonti di energia alternative in regioni con elevata dipendenza dall'energia idroelettrica.
- creazione di una "ridondanza" dei diversi settori produttivi, e diversificazione delle economie e dei sistemi di sussistenza;
- promozione del commercio agricolo tra i Paesi, le regioni e l'intero bacino, attraverso l'interconnessione dei diversi sistemi di produzione e trasporto. In questo modo si potrà garantire che occasionali deficit alimentari locali possano essere compensati da eccedenze provenienti da altre regioni;
- ripristino dei terreni degradati, aumentando la loro capacità di trattenere l'umidità e promuovendo misure volte ad aumentare la resa e l'efficienza della risorsa idrica per uso agricolo;
- tutela degli ecosistemi lacustri e fluviali di importanza transfrontaliera;
- miglioramento dell'uso congiunto di acque sotterranee e di superficie;
- aumento della capacità di stoccaggio dell'acqua pro capite mediante la costruzione di bacini idrici - sia piccoli che grandi;
- incremento della ricerca scientifica in campo agricolo, puntando su varietà di colture resistenti alla siccità, ad alto rendimento, a maturazione rapida, ecc.
- introduzione della zonizzazione e della pianificazione dell'uso del territorio per scoraggiare la nascita di insediamenti permanenti nelle pianure alluvionali e in altre aree soggette a frane e alti rischi di alluvione.
- implementazione di misure atte ad invertire il fenomeno della deforestazione.

- intensificazione e capillarizzazione della raccolta dati, a livello nazionale e regionale, per migliorare la modellazione, l'analisi e la comprensione scientifica del fenomeno dei cambiamenti climatici, rafforzando gli strumenti di pianificazione e monitoraggio.

2.4 Reperibilità ed accuratezza dei dati

Informazioni accurate sul tempo e le variabili idrologiche sono un punto di partenza per valutare la direzione, il ritmo e l'entità del cambiamento climatico. Il Nilo è tra i fiumi più studiati al mondo, con documenti risalenti a oltre 1.000 anni. Per gran parte del secolo scorso, il bacino era dotato di una rete piuttosto estesa di stazioni di monitoraggio idro-meteorologiche, che forniva una buona copertura di dati statistici affidabili sulle portate di flusso e registrazioni continue di parametri climatici chiave. Tuttavia, l'acquisizione dei dati è diminuita dagli anni '70 a causa di una combinazione di circostanze politiche e vincoli di bilancio Figura 2.5.

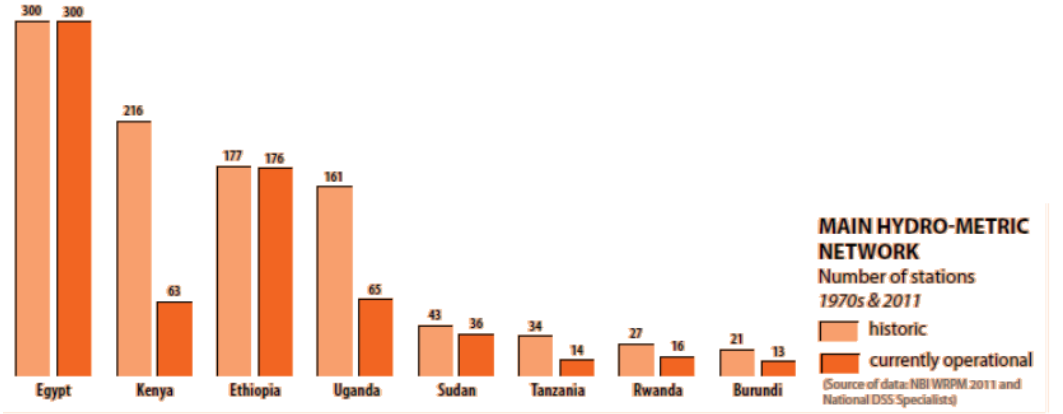


Figura 2.5 – Numero di stazioni della rete idrometrica principale per paese nel 1970 e 2011 (NBI WRPM 2011 and National DSS Specialist)

Le lacune di dati ora esistono per le parti significative del bacino e per un certo numero di sezioni critiche della rete fluviale. Questa mancanza di conoscenza rende difficile convalidare i modelli climatici e prevedere i possibili cambiamenti climatici. L'acquisizione dei dati è resa ancora più difficile se si considera la vastità del bacino del Nilo e la difficoltà di raggiungimento di alcune zone, anche se un'analisi della FAO del 2002 ha rilevato che in aree non soggette a rischi per l'incolumità dei tecnici, la ragione principale del declino delle attività di monitoraggio era costituita dagli elevati costi operativi associati alle visite sul campo e dalla complessa elaborazione dei dati, nonché a fenomeni di vandalismo. Le moderne apparecchiature elettroniche di monitoraggio, fortunatamente, ridurranno drasticamente le spese operative e renderanno disponibili i dati

in tempo reale. Ristabilire una rete di acquisizione dei dati completa nel bacino deve essere una priorità chiave degli stati rivieraschi del Nilo.

Sono disponibili inoltre molti modelli diversi e ognuno ha prodotto diversi scenari climatici Figura 2.6. Sfortunatamente, la capacità dei modelli climatici di prevedere con precisione le condizioni metereologiche future a livello locale o regionale è attualmente molto limitata. Le grandi incertezze associate ai modelli climatici del bacino del Nilo sono dovute a diversi fattori, tra cui l'incertezza sulle future emissioni di gas a effetto serra, la difficoltà nella modellazione del clima da una scala globale ad una scala macro e la complessità nel downscaling dei risultati dei vari modelli meteorologici su scala regionale e locali.

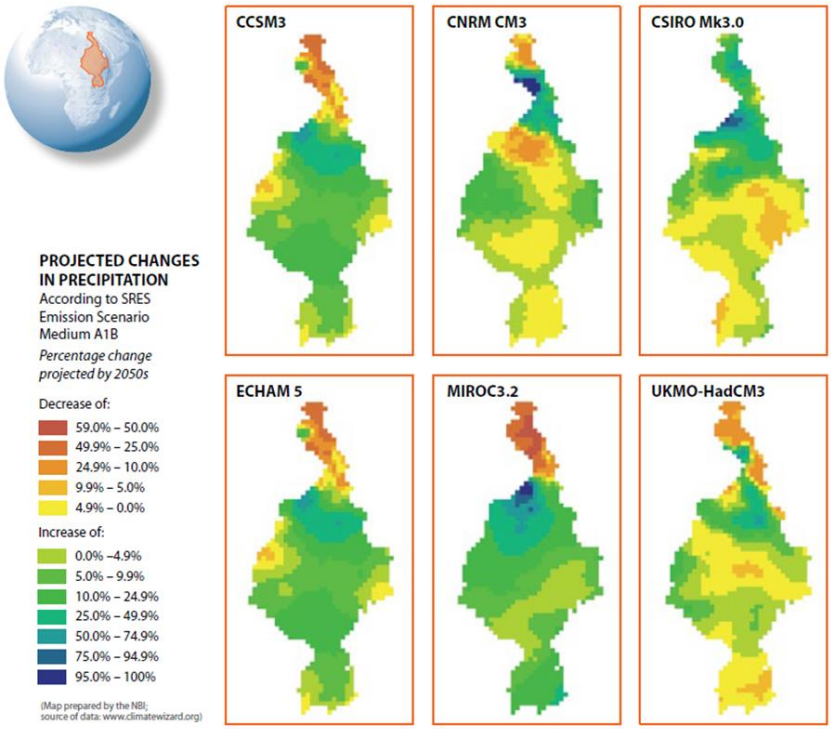


Figura 2.6 – Esempio di differenti scenari ottenuti con modelli climatici differenti inerenti alla variazione di precipitazione (NBI)

3. Etiopia

Ufficialmente denominata Repubblica federale democratica dell'Etiopia, è uno Stato situato nel Corno d'Africa con capitale Addis Abeba. L'Etiopia è una federazione di nove regioni, tali zone sono ulteriormente suddivise in woredas e le woredas in kebeles, che rappresentano le "associazioni degli abitanti delle città" nelle zone urbane e le "associazioni contadine" nelle zone rurali. È il terzo paese più popoloso dell'Africa con una popolazione totale di 99,3 milioni di abitanti (*United Nations Population Division, UNPD, 2014-2015*). Confina a nord con l'Eritrea, a nord-est con Gibuti, ad est con la Somalia, ad ovest con il Sudan e il Sud Sudan e a sud con il Kenya (Figura 3.1). Priva di sbocchi sul mare, occupa una superficie totale di 1.100.000 chilometri quadrati.

Figura 3.1 – Etiopia e confini (Fonte: Google Maps)

Il territorio presenta una topografia varia, all'interno del Paese è presente un vasto complesso di montagne e altopiani separati dalla Great Rift Valley, valle che si estende a nord-est circondata da pianure, steppe, e zone semi-desertiche. La grande varietà orografica determina ampie escursioni climatiche, di tipologia di suolo, vegetazione naturale, e tipologie di insediamenti. L'Etiopia è un paese dotato di una grande biodiversità: dai deserti lungo il confine orientale, alle foreste tropicali del sud, ad ampie zone montane, nelle parti settentrionali e del sud-ovest. Il Lago Tana nel nord è la sorgente del Nilo Azzurro. Sebbene l'agricoltura sia il settore dominante, la maggior parte della terra

è coltivata a pioggia. A causa della mancanza di strutture di stoccaggio dell'acqua e di grandi variazioni spaziali e temporali nelle precipitazioni, la maggior parte degli agricoltori non ha abbastanza acqua per produrre più di un raccolto all'anno ne consegue che ci sono frequenti problemi dovuti ai periodi di siccità che hanno portato a una cronica carenza di cibo prodotto nel paese.

3.1 Clima e Piovosità

L'Etiopia ha un clima diversificato grazie alla sua posizione nella fascia equatoriale e alla sua varia topografia (*Block 2008*). Le condizioni climatiche del paese sono tradizionalmente classificate in cinque zone climatiche basate sull'altitudine e sulla temperatura. Si va dall'area fredda alta denominata "wurch" all'area climatica altamente calda nota come "Berha" (Figura 3.2).

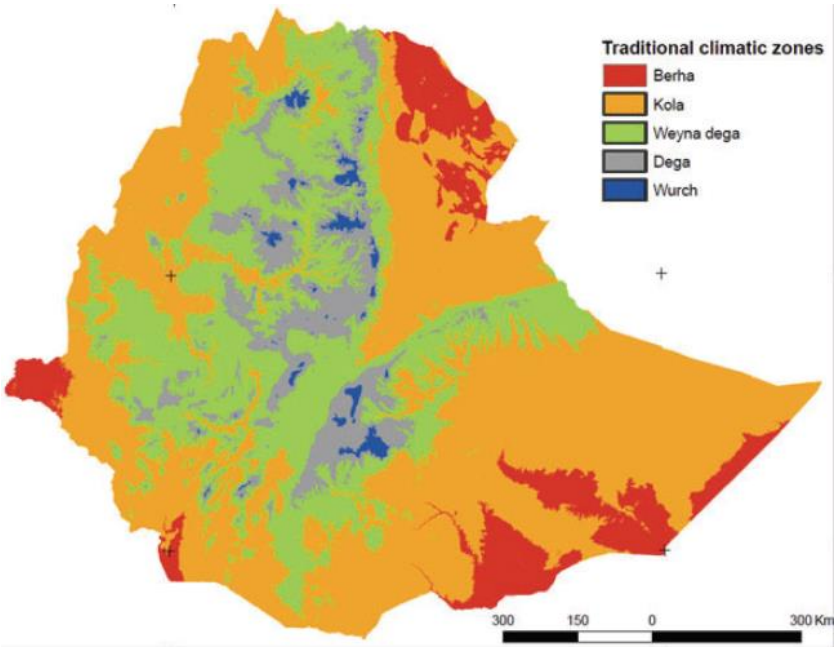


Figura 3.2 - Zone climatiche tradizionali dell'Etiopia (Water Resources and Irrigation Development in Ethiopia, International Water Management Institute)

In Tabella 3-1 sono maggiormente approfondite le caratteristiche delle zone climatiche.

Tabella 3-1 - Zone climatiche tradizionali dell'Etiopia e loro caratteristiche fisiche. (Fonte: NRMRD-MoA 1998)

Zones	Altitude (m) (NRMRD-MoA 1998)	Mean annual rainfall (mm) (NRMRD-MoA 1998)	Length of growing periods (days) (NRMRD-MoA 1998)	Mean annual temperature (°C) (NRMRD-MoA 1998)	Area share (%)
Wurich (cold to moist)	> 3,200	900–2,200	211–365	Below 11.5	0.98
Dega (cool to humid)	2,300–3,200	900–1,200	121–210	11.5–17.5	9.94
Weynadega (cool sub humid)	1,500–2300	800–1,200	91–120	17.5–20.0	26.75
Kola (Warm semiarid)	500–1,500	200–800	46–90	20.0–27.5	52.94
Berha (Hot arid)	< 500	Below 200	0–45	Above 27.5	9.39

Il clima del paese è descritto dall'interpretazione statistica dei dati sulle precipitazioni e sulla temperatura registrati per un lungo periodo di tempo. Come descritto sul sito web dell'Agenzia meteorologica nazionale dell'Etiopia (*http://www.ethiomet.Gov.et*), sul territorio etiope sono distribuite un totale di 909 stazioni meteorologiche attive. Queste stazioni sono classificate in quattro classi secondo la classificazione standard della World Meteorological Organization (WMO). La Figura 3.3 mostra la distribuzione e i tipi di stazioni meteorologiche in Etiopia.

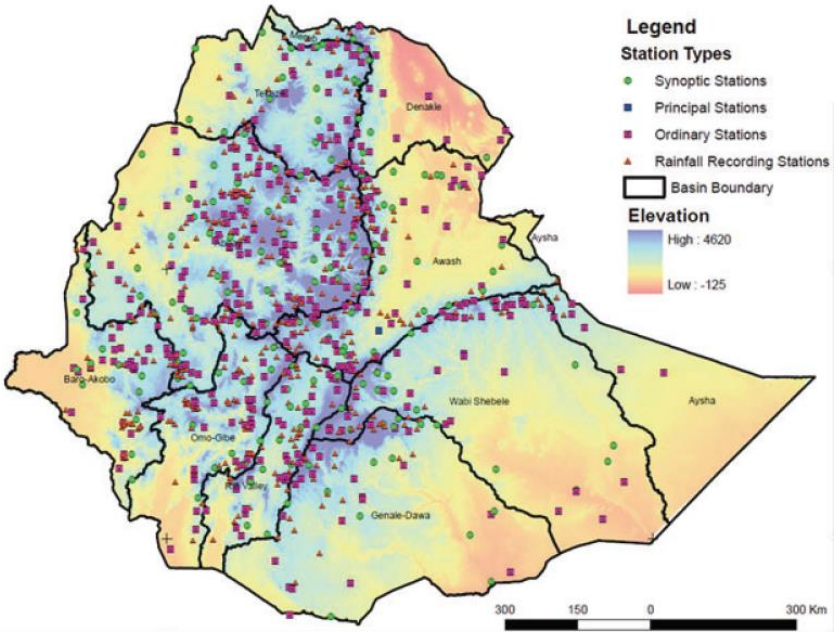


Figura 3.3 - Distribuzione delle stazioni meteorologiche e tipi per bacino e variazione di quota in Etiopia (Water Resources and Irrigation Development in Ethiopia, International Water Management Institute)

Le precipitazioni nel paese sono caratterizzate da variabilità stagionale e inter-annuale (*Camberlin 1997, Shanko e Camberlin 1998, Conway 2000, Seleshi e Zanke 2004*). Le complesse caratteristiche topografiche e geografiche del paese hanno un forte impatto su queste variazioni spaziali del clima e sui diversi regimi pluviometrici in Etiopia (*National Service Agency 1996, Zeleke et al., 2013*), in generale, gli altipiani dell'Etiopia ricevono più pioggia delle pianure. Ciò rende più complesso il sistema di precipitazioni del paese. Il cambiamento regionale e globale dei sistemi meteorologici e la variazione topografica insieme ai cicli stagionali sono responsabili della variabilità spaziale delle precipitazioni nel paese. Le precipitazioni medie annue dell'Etiopia variano da 141 mm nella zona arida dei confini orientali e nord-orientali del paese a 2.275 mm negli altopiani del sud-ovest (*Berhanu et al., 2013*). Gli altopiani centrali e occidentali del paese ricevono una piovosità media annuale di oltre 1.200 mm. Guardando la variabilità delle precipitazioni del paese da parte dei bacini fluviali, i bacini fluviali orientali ricevono precipitazioni da basse a medie, mentre quelle che scorrono verso ovest ricevono una piovosità media annua nell'intervallo medio-alto (Figura 3.4).

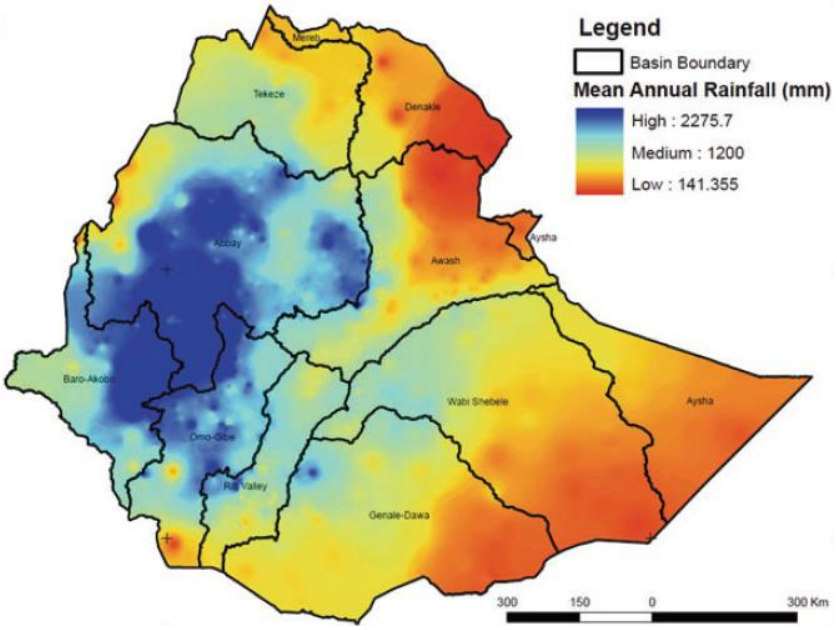


Figura 3.4 - Distribuzione spaziale delle precipitazioni medie annue in Etiopia (Water Resources and Irrigation Development in Ethiopia, International Water Management Institute)

Le precipitazioni stagionali in Etiopia sono guidate principalmente dalla migrazione della Zona di convergenza intertropicale (ZCIT) (*Conway 2000*). La posizione esatta della ZCIT cambia durante l'anno, oscillando attraverso l'equatore dalla sua posizione più settentrionale sull'Etiopia settentrionale in luglio e agosto, fino alla sua posizione più meridionale sul Kenya meridionale in gennaio e febbraio, questo spostamento causa la variabilità annuale delle precipitazioni del paese. La maggior parte dell'area etiopica ha una

stagione umida principale ("Kiremt") che dura da metà giugno a metà settembre (fino a 350 mm di pioggia al mese nelle regioni più umide), quando la ZCIT si trova nella sua posizione più settentrionale (*McSweeney et al. 2012*). Anche alcune parti dell'Etiopia settentrionale e centrale hanno una stagione umida secondaria con precipitazioni irregolari e considerevolmente minori da febbraio a maggio ("Belg"). Le regioni meridionali dell'Etiopia sperimentano due distinte stagioni umide, che si verificano quando la ZCIT gli passa attraverso. La stagione "Belg" da marzo a maggio è la principale stagione delle piogge che può produrre 100-200 mm di pioggia al mese, seguita da una stagione delle piogge con minore intensità da ottobre a dicembre denominata "Bega" (circa 100 mm di pioggia al mese). L'angolo più orientale dell'Etiopia riceve pochissime precipitazioni in qualsiasi momento dell'anno (*McSweeney et al., 2012*).

3.2 Risorsa idrica

Attualmente, le acque superficiali e i dati meteorologici sono raccolti e trattati regolarmente attraverso reti idro-meteorologiche esistenti. L'idea di un bacino fluviale, date le sue caratteristiche fisiche o naturali, è più di un concetto ingegneristico e comprende l'ampiezza e la dinamica della risorsa che deve essere sfruttata per il bene comune (*Molle 2006*). È stato spesso sostenuto che l'unità più logica per la pianificazione delle risorse idriche e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche disponibili è appunto il bacino fluviale. Di conseguenza, è auspicabile che tutti i principali bacini fluviali in Etiopia dispongano di un piano generale integrato di sviluppo e che sia noto il loro potenziale in termini di sviluppo economico. L'Etiopia è costituita per il 99,3% da superficie terrestre e il restante 0,7% è coperto da corpi idrici. Il paese, è dotato di una notevole quantità di risorse idriche, ha 12 bacini fluviali (Figura 3.5), il cui potenziale idrico superficiale del paese, identificato e stimato in diversi piani di gestione integrata dei bacini idrografici, è di circa 124,25 miliardi di metri cubi.

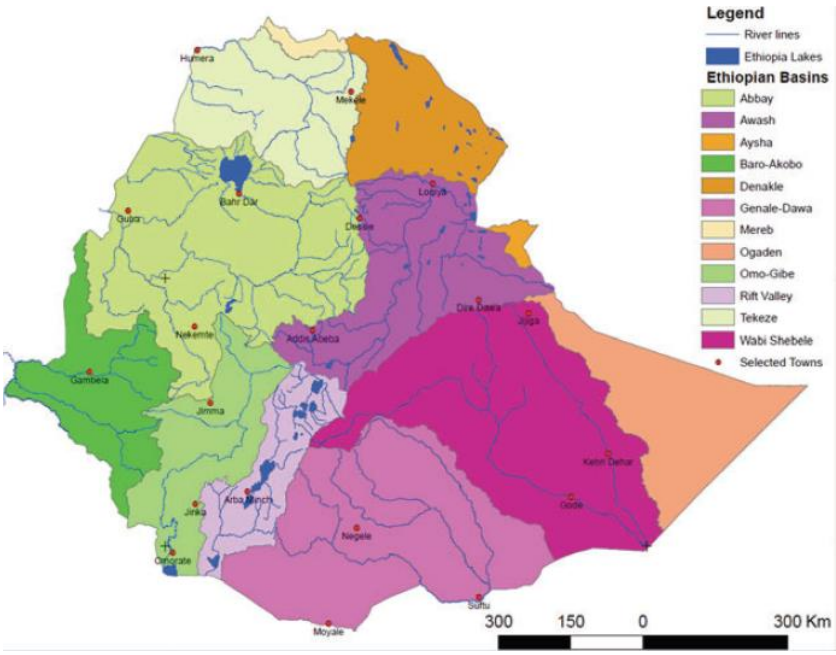


Figura 3.5 – Mappa dei bacini fluviali etiopici (Water Resources and Irrigation Development in Ethiopia, International Water Management Institute)

Poiché la maggior parte dei fiumi ha natura transfrontaliera, il 97% del flusso annuale scorre dall'Etiopia verso i paesi limitrofi e solo il 3% del totale rimane all'interno del paese. La variabilità temporale delle acque superficiali del paese segue lo schema delle precipitazioni precedentemente esposto.

La maggior parte degli studi sui piani regolatori dei bacini non tengono in considerazione le risorse idriche superficiali del paese (laghi, zone umide e pianure alluvionali). Questi sistemi immagazzinano quantità significative di acqua. Ad esempio, lo studio del *Water Audit Modeling* relativo al bacino del fiume Awash mostra che 5,7 miliardi di metri cubi di acqua sono immagazzinati ed esposti all'evaporazione nei laghi di questo bacino, nelle zone umide e nelle pianure alluvionali del bacino (*MoWE e FAO 2012*). Di conseguenza, se valutiamo i principali laghi del paese, l'Etiopia ha ben 12 laghi principali. Questi coprono un'area di circa 7.300 km^2 e immagazzinano circa 70 miliardi di metri cubi di acqua. Questo potenziale non è pienamente sfruttato (potrebbe contribuire allo sviluppo economico della nazione) a causa di molti fattori, come la mancanza di risorse finanziarie, di un buon substrato legislativo del settore idrico e di conoscenze tecniche adeguate alla gestione di tale risorsa. Le caratteristiche salienti del potenziale di sviluppo delle risorse idriche di tutti i bacini fluviali etiopi sono mostrate nella Tabella 3-2.

Tabella 3-2 – Caratteristiche dei bacini fluviali etiopi (Water Resources and Irrigation Development in Ethiopia, International Water Management Institute)

River Basin	Area (Km^2)	Runoff (Bm^3)	Potential Irrigable Land (ha)	Gross Hydro-electric potential Gwh/year	Estimated ground water potential (Bm^3)
Tekeze	82,350 ***	8.2	83,368	5,980	0.20
Abbay	199,812	54.8	815,581	78,820	1.80
Baro-Akobo	75,912	23.6	1,019,523	13,765	0.28 0.13Recharge/year
Omo-Ghibe	79,000	16.6	67,928	36,560	0.42 (.10)Rech /yr
Rift Valley	52,739	5.6	139,300 *	800	0.10
Mereb	5,900 ***	0.65	67,560	-	0.05
Afar /Denakil	74,002 ****	0.86	158,776	-	-
Awash	112,696	4.9	134,121	4,470	0.14
Aysha	2,223 ****	-		-	-
Ogaden	77,121 ****	-		-	-
Wabi-Shebelle*	202,697 **	3.16	237,905	5,440	0.07
Genale-Dawa	171,042 **	5.88	1,074,720	9,270	0.14
Total	1,135,494	124.25	3,798,782	155,102	2.86

Source: Integrated River Basin Master Plan Studies, carrried out during 1997-2007 (MoWR 1996, 1997, 1998a, 1998b) Irrigable land from the IWMI irrigation database (based on – MoWR data).

* Figures need to be updated from recent studies.

** Small-scale is not included in the database, medium and large-scale is 49,700 ha.

*** Indicates the Ethiopian part of the basin area. The total basin area is 23, 932 ha.

**** Reconnaissance study

Le acque sotterranee sono influenzate principalmente dalle condizioni geofisiche e climatiche dell'area. La difficoltà ad ottenere acquiferi produttivi è una caratteristica peculiare dell'Etiopia, caratterizzata dal un'ampia eterogeneità geologica, topografica e di condizioni ambientali. In realtà, la geologia del paese fornisce acqua sotterranea utilizzabile e fornisce una buona trasmissione delle precipitazioni per la ricarica delle falde acquifere, che producono sorgenti e alimentano fiumi perenni. In molte parti del paese, le falde acquifere sono importanti riserve utilizzate per l'acqua domestica e industriale. Tuttavia, è la distribuzione delle acque sotterranee che non risulta uniforme. Geologicamente, il paese è costituito da un basamento Precambriano (18%) successivamente si ritrovano, rocce sedimentarie Paleozoiche e Mesozoiche (25%), rocce sedimentarie e vulcaniche del Terziario (40%) e sedimenti quaternari e rocce vulcaniche (17%) (*MoWR 2009*)

Rispetto alle risorse idriche superficiali, l'Etiopia ha un minore potenziale idrico sotterraneo. Tuttavia, il potenziale totale delle acque sotterranee sfruttabili è elevato rispetto allo standard di molti altri paesi. Sulla base delle scarse conoscenze disponibili sulle risorse idriche sotterranee, con la comprensione della natura della distribuzione geologica e della classificazione di ricarica del paese, Alemayehu (2006) ha stimato la riserva totale di acque sotterranee del paese a 185 miliardi di metri cubi, distribuita in

un'area di 924.140 km^2. Si stima che la risorsa annualmente ricaricabile e utilizzabile sia di circa 2,6 miliardi di metri cubi, questo valore però sembra essere estremamente sottostimata. Tadesse (2004) ha stimato che almeno 13,2 miliardi di m^3 si infiltrano nel sistema delle acque sotterranee, di cui il 50% potrebbe essere estraibile. Tali stime dovrebbero, però, essere confermate attraverso un'indagini idrogeologiche dettagliate. Le indagini geologiche del territorio etiope ricoprono finora solo il 20,4% della totale estensione del paese, tali indagini sono state mappate alla scala 1: 250.000, circa il 36,8% del paese è mappato a scala uno su un milione e l'intero paese a scala uno su due milioni (*MoWE 2013*).

Il database etiopico nazionale delle acque sotterranee (Ethiopian National Groundwater Database - ENGDA) è stato implementato dal 2003 congiuntamente dal Ministero delle Risorse per l'Acqua, dall'Università di Addis Abeba e dal Servizio geologico etiope ed in collaborazione con gli uffici regionali per lo sviluppo delle risorse idriche, le imprese del settore idrico e le ONG. La disponibilità di questa banca dati delle acque sotterranee svolge un ruolo importante nella comprensione del ciclo idrologico e della relazione scarica-ricarica, per la valutazione e la gestione delle risorse idriche. Attualmente sono in corso valutazioni dettagliate delle acque sotterranee in diverse aree, come detto in precedenza queste indicano che il potenziale di utilizzo delle acque sotterranee di 2,6 miliardi di metri cubi sottostima la reale disponibilità di risorsa utilizzabile. Le migliori ipotesi a questo riguardo variano tra 12 e 30,6 miliardi di metri cubi, o anche di più se vengono valutate tutte le falde acquifere nelle pianure (MoWR e GW-MATE 2011).

Anche se nel paese si registra un'immensa disponibilità di acque superficiali e di acque sotterranee, l'Etiopia ha uno dei più bassi tassi di accesso per fornitura di acqua dolce, servizi igienici e servizi igienici in Africa. In base ai tassi di crescita della popolazione e al tasso di crescita fornito da Central Statistics Authority (CSA 2007), la prevista domanda di acqua pulita alla fine del "piano di crescita e trasformazione" (growth and transforming plan – GTP) sarà di circa 2,6 miliardi di metri cubi.

La Tabella 3-3 riporta una panoramica della risorsa idrica potabile a livello nazionale tratta dal database JMP, 2017. È da evidenziare che nell'arco temporale riportato in tabella, sia aumentato l'utilizzo di risorse idriche trattate passando dal 24.6% (2000) fino al 63.7% (2015), questo miglioramento sta alla base di corrette metodologie di gestione della risorsa idrica ed è direttamente collegata alla diminuzione dell'utilizzo di acque non sicure e/o superficiali.

Tabella 3-3 - situazione della risorsa idrica potabile in Etiopia (Fonte JMP 2017)

Drinking water (%)											
						Population using an improved sources which are:					
Year	Improved water	Improved within 30 mins	Improved more than 30 mins (limited)	Unimproved water	Surface water	Piped	Non-piped	Accessible on premises	Available when needed	Free from contamination	Safely managed drinking water
2000	24.6	16.7	7.9	42.2	33.2	17.2	7.4	4.7	17.7	6.6	4.7
2001	27.2	18.2	9.0	41.0	31.7	18.2	9.1	5.1	19.9	7.0	5.1
2002	29.9	19.7	10.2	39.9	30.3	19.1	10.7	5.5	22.2	7.4	5.4
2003	32.5	21.1	11.3	38.7	28.8	20.1	12.4	6.0	24.4	7.8	5.6
2004	35.1	22.6	12.5	37.6	27.4	21.1	14.0	6.5	26.6	8.2	5.8
2005	37.6	24.0	13.6	36.4	25.9	22.0	15.6	7.0	28.9	8.6	6.1
2006	40.2	25.5	14.8	35.3	24.5	23.0	17.2	7.6	31.1	9.0	6.4
2007	42.8	26.9	15.9	34.1	23.1	24.0	18.8	8.2	33.3	9.4	6.7
2008	45.5	28.5	17.0	32.9	21.6	25.1	20.4	9.0	35.5	9.8	7.1
2009	48.1	30.0	18.1	31.7	20.1	26.1	22.0	9.8	37.7	10.3	7.5
2010	50.8	31.5	19.2	30.5	18.7	27.2	23.5	10.6	39.9	10.7	7.9
2011	53.4	33.1	20.3	29.4	17.2	28.3	25.1	11.5	42.1	11.2	8.4
2012	56.0	34.6	21.4	28.2	15.8	29.4	26.6	12.4	44.3	11.7	8.9
2013	58.6	36.1	22.5	27.0	14.4	30.5	28.1	13.4	46.4	12.1	9.4
2014	61.2	37.6	23.5	25.8	13.0	31.6	29.6	14.4	48.6	12.6	10.0
2015	63.7	39.1	24.6	24.7	11.6	32.7	31.0	15.5	50.7	13.0	10.5

3.3 Inquinamento

In Etiopia l'inquinamento delle falde acquifere è un concreto pericolo, soprattutto nelle zone urbane. Un elemento inquinante viene trasportato dalla falda seguendo il suo deflusso naturale è necessario conoscere anche le caratteristiche di percolazione, geologiche e idrogeologiche del terreno.

Tra le principali fonti di inquinamento troviamo:

1) fosse "biologiche";
2) pesticidi, fertilizzanti, ecc.;
3) percolazione scarichi di miniera;
4) cimiteri;
5) pozzi abbandonati o mal costruiti. Spesso i pozzi sono fatti come capita e quelli abbandonati diventano delle vere e proprie discariche;
6) Perdite da impianti industriali.

L'inquinamento di falda può essere dovuto all'interazione della falda con i fimi in particolare quando questi ultimi alimentano la falda. In Etiopia, ad Addis Abeba, diversi fiumi attraversano il centro abitato. In queste situazioni diventano di rilevante importanza tutti quei processi naturali che possono influire positivamente sulla qualità della risorsa idrica, come ad esempio il potere autodepurante del terreno, la diluizione della massa

inquinante, tempo di trasferimento dall'origine alla captazione ecc. Alcune opere per la depurazione delle acque sono estremamente semplici da realizzare, ad esempio, l'acqua può essere purificata facendola passare attraverso una sabbia (potere autodepurante). Il tempo di trasferimento dall'origine di inquinamento alla captazione è importante in quanto determinati inquinanti hanno tempi di decadimento che possono essere minori del tempo di trasferimento e quindi comportare la scomparsa dell'inquinante dell'acqua prima di raggiungere il punto di contatto con l'uomo.

Il metodo più usato al fine di proteggere le opere di captazione è quello di garantire una distanza di sicurezza, all'interno della quale viene impedita qualsiasi attività che possa impattare sulla risorsa.

Da uno studio effettuato dal Central Statistical Agency of Ethiopia in collaborazione con Ministry of Water, Irrigation and Electricity (MOWIE), LSMS, World Bank, UNICEF, WHO e JMP sulla condizione della risorsa idrica in Etiopia è stato possibili ottenere informazioni riguardanti le tipologie di fonti utilizzate, l'accessibilità alla risorsa idrica, la disponibilità e la qualità di quest'ultima. Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti da questo studio.

3.3.1 Fonti utilizzate

In Figura 3.6 è riportata la suddivisione, per percentuale di popolazione, dell'approvvigionamento di acqua potabile a livello nazionale, per le zone rurali e urbane (WHO/UNICEF JMP 2017).

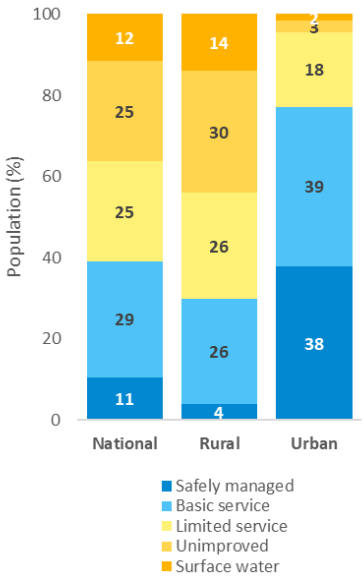


Figura 3.6 – Approvvigionamento di acqua potabili in Etiopia

A livello nazionale, secondo i più recenti dati sul consumo abituale di acqua, circa il 75% delle famiglie ha accesso a fonti idriche sicure durante tutto l'anno, anche se attraverso un

sondaggio si è rilevato che la percentuale effettiva ottenuta è diminuita al 66%. L'attuale utilizzo di forniture idriche sicure è l'11%, maggiore nelle aree urbane (38%) rispetto alle aree rurali (circa il 4%).

Un'altra importante differenza è che nelle aree urbane il 77% delle famiglie utilizza acqua convogliata attraverso acquedotti rispetto al 15% delle famiglie che utilizza acque convogliate nelle aree rurali. Le fonti di approvvigionamento più comuni nel territorio etiope sono le sorgenti non protette (20%) e le acque convogliate negli edifici (16%).

Delle quattro regioni principali, la Tigray ha la più grande percentuale di fonti sicure, che sono utilizzate da circa il 72% della popolazione. Nel SNNP (Regione delle Nazioni, Nazionalità e Popoli del Sud) e Oromia, il 66% ha segnalato l'accesso a fonti migliorate. La copertura delle fonti di acqua migliorate ad Amhara è la più bassa tra le regioni e si attesta al 62%.

3.3.2 Accessibilità

L'accessibilità è uno dei criteri per la definizione di servizi idrici "gestiti in modo sicuro", il JMP ha stabilito che il parametro da utilizzare per valutare l'accessibilità è il tempo di viaggio (tempo necessario per raggiungere la fonte idrica, fare la coda se necessario, riempire i contenitori e ritornare) che dovrebbe essere inferiore a 30 minuti. Questo viene raccolto regolarmente nelle indagini e nei censimenti nazionali delle famiglie. Sebbene i tempi segnalati spontaneamente non siano sempre precisi essi forniscono un utile indicatore del carico temporale relativo della raccolta dell'acqua. A livello nazionale, per il 19% della popolazione che ha a disposizione l'approvvigionamento idrico in loco, il 55% impiega da 1 a 30 minuti e il 26% deve impiegare più di 30 minuti per andare a prendere l'acqua. il tempo varia per i residenti rurali che impiegano più tempo dei residenti urbani.

3.3.3 Disponibilità

L'acqua potabile dovrebbe essere disponibile in quantità sufficienti in ogni momento, è improbabile che nel breve termine, tutti i paesi possano raggiungere questo livello di servizio. Secondo l'Organizzazione Mondiale Della Sanità (OMS), sono necessari dai 50 ai 100 Litri/giorno pro-capite di acqua per assicurare condizioni adatte a prevenire le malattie. Dove i servizi sono inaffidabili o intermittenti, le famiglie in genere immagazzinano acqua per assicurarsi che essa sia disponibile quando necessaria. Lo studio ha ricavato che il 78% della popolazione non ha problemi di disponibilità della risorsa e che per il 76% della popolazione la quantità di risorsa idrica è sufficiente.

3.3.4 Qualità

Dei 4533 test condotti presso fonti idriche, 4513 risultati (oltre il 99%) potrebbero essere classificati in categorie di rischio di presenza di Escherichia coli (basso, moderato, alto o molto alto). La fonte più comune a basso rischio è quella che viene convogliata negli edifici (45%), la maggior parte dell'acqua ad alto rischio proviene da fonti non trattate (64%), in particolare sorgenti non protette (34%) e acque superficiali (23%). Quasi il 95% della popolazione che accede alle acque a basso rischio utilizza risorse trattate e quindi sicure. La Tabella 3-4 mostra che il 14% della popolazione utilizza acqua da fonti a basso rischio (nessun E. coli rilevabile), ma il 37% utilizza forniture ad alto rischio.

Tabella 3-4 - E. coli rischio percentuale di popolazione a rischio al punto di raccolta (Drinking Water Quality in Ethiopia, 2017)

	Low Risk: E. coli <1 CFU/100 mL	Moderate Risk: E. coli 1-10 CFU/100 mL	High Risk: E. coli 11-100 CFU/100 mL	Very High Risk: E. coli >100 CFU/100 mL	Total	Population (milions)	Count
Total	14	23.2	26.2	36.6	100	90.2	4.402

La qualità dell'acqua è migliore nelle grandi città (46% della popolazione a basso rischio) e peggiore nelle zone rurali (8,4% della popolazione a basso rischio). La migliore qualità dell'acqua si ritrova nella regione di Addis Abeba (85% a basso rischio) e la peggiore in SNNP (7,2% a basso rischio). L'acqua convogliata, utilizzata dal 14% della popolazione ha una qualità relativamente buona, con il 42% di basso rischio e solo l'8,6 percento di rischio molto alto. L'acqua col più alto rischio è principalmente quella raccolta da fonti non trattate (69%), in particolare acque superficiali (85%) e pozzi non protetti (76%). La qualità dell'acqua è migliore nelle famiglie che dispongono di servizi igienici in casa per il lavaggio delle mani con acqua e sapone.

In generale vi è un generale peggioramento della qualità tra quando l'acqua viene raccolta a quando viene consumata. È noto che la contaminazione microbiologica tende ad aumentare quando l'acqua viene immagazzinata. Tuttavia, in alcuni casi, col trattamento domestico dell'acqua i batteri fecali possono diminuire. La Tabella 3-5 confronta il rischio di E. coli alla fonte con il rischio dovuto al consumo di un bicchiere d'acqua in casa dopo lo stoccaggio.

Tabella 3-5 - E. coli percentuale di rischio alla fonte e in famiglia (Drinking Water Quality in Ethiopia, 2017)

		E. coli at the collection point				
		<1	1_10	11_100	>100	Total
E. coli in the glass	<1	3.7	0.8	(0.5)	(*)	5.3
	1-10	3.2	4.1	1.7	(0.9)	9.9
	11-100	5.2	12.3	13.3	6.2	37.0
	>100	1.7	6.5	10.5	29.0	47.8
	Total	13.9	23.8	25.9	36.4	100.0

Large decrease	1.7
Slight decrease	8.7
No change	50.1
Slight increase	26.0
Large increase	13.5

Note: Values in brackets are estimates from small observations (number of unweighted cases less than 50 but greater than 24). The symbol, (*), denotes suppressed values for less than 25 observations.

Le celle in giallo sulla diagonale, rappresentano le famiglie in cui il rischio è lo stesso in entrambi i punti di campionamento (50% della popolazione). In alcuni casi (10%, verde o verde scuro) i livelli di E. coli diminuiscono tra il punto di raccolta e consumo, ma sono più comuni i casi in cui aumentano moderatamente (26%) o sostanzialmente (14%).

Oltre alle caratteristiche microbiche, sono stati misurati numerosi parametri di qualità fisico-chimici. La torbidità e la presenza cloro sono stati misurati sul campo, i campioni sono stati anche testati in laboratorio per fluoruro, ferro, durezza ed elettroconduttività.

Il residuo di cloro libero è stato misurato solamente per i campioni provenienti dalle condotte di adduzione (livelli da moderati a elevati indicano solitamente che l'acqua è adeguatamente trattata). È stato ricavato che l'acqua potabile convogliata utilizzata dal 14% delle famiglie presentava un adeguato livello di cloro residuo, più frequentemente nella regione di Addis Abeba (28% delle famiglie). Quasi tutte le acque domestiche provenienti da fonti convogliate però presentano un basso contenuto di cloro residuo (82-97% in base alla tipologia di tubazione), come nel caso delle condutture idriche nelle aree rurali (98%) e nelle piccole città (92%). Lo studio ha mostrato una correlazione ragionevolmente elevata tra livelli di cloro medio-alto e basso rischio di E. coli.

Come prevedibile, l'elevata torbidità (> 5 NTU) si è verificata più spesso in acque superficiali e pozzi scavati non protetti.

Altro parametro misurato è stato il fluoro, lo standard nazionale etiope per questo elemento nell'acqua potabile è massimo di 1,5 mg/L (valore guida dell'OMS). Le concentrazioni di fluoruro nell'acqua disponibili al 96% della popolazione soddisfano tale standard. Sebbene alte concentrazioni di fluoro colpiscano una piccola parte della popolazione, la sua presenza è molto concentrata in determinate zone, ne consegue che si possono utilizzare

soluzioni mirate. Della popolazione (3,8%) le cui fonti d'acqua hanno concentrazione pari o maggiore a 1,5 mg/L, il 26% di questa utilizza acqua la cui concentrazione è il doppio del valore della linea guida (> 3 mg / L).

La durezza dell'acqua influisce sulle preferenze del consumatore, lo standard nazionale etiope per la durezza dell'acqua potabile è di 300 mg/L ($CaCO_3$), in Tabella 3-6 la classificazione della durezza dell'acqua secondo gli standard etiopi e le relative percentuali di popolazione suddivisa per concentrazione di $CaCO_3$.

Tabella 3-6 – Durezza dell'acqua potabile in percentuale (Drinking Water Quality in Ethiopia, 2017)

	Soft <60 mg/L	Moderately Hard: 60-180 mg/L	Hard: 180-300 mg/L	Very Hard: >300 mg/L	Total
Total	31.4	40.7	16.7	11.2	100

Non esiste un valore guida pertinente dell'OMS riguardo la durezza dell'acqua, questo rivela che l'accettabilità pubblica della durezza nell'acqua potabile può variare considerevolmente.

3.3.5 Risorsa idrica per consumo umano

I tre indicatori – qualità, disponibilità e accessibilità - costituiscono l'indicatore di servizi idrici potabili gestiti in sicurezza. Questo studio ha rilevato che solo il 3,4% delle famiglie in Etiopia accede a servizi gestiti in sicurezza. Tuttavia, poiché tali indicatori provengono talvolta da fonti di dati diversi e pertanto non possono sempre essere sempre relazionati tra loro, il JMP ha deciso che per indicare un servizio idrico gestito in modo sicuro bisogna considerare l'indicatore con la minore percentuale di rischio. Ad esempio, per l'Etiopia nel suo insieme, il rischio relativo alla qualità ha il valore più basso (13%), pertanto, i servizi di idrici potabili gestiti in sicurezza sono stimati al 13% (Tabella 3-7).

Tabella 3-7 – Percentuale di servizi idrici potabili gestiti in modo sicuro (Drinking Water Quality in Ethiopia, 2017)

	Improved	On Premises and improved	Sufficient and Improved	Quality and Improved	Safety Managed (Household)	Safety Managed (Domain)
Total	66	18.2	46.9	13.2	3.4	13.2

Per la stima ufficiale dell'indicatore "gestito in modo sicuro", il JMP attingerà a più database per ciascun indicatore, pertanto la stima del 13% basata sui soli dati di tale studio potrebbe non essere utilizzata per gli SDG. Allo stato attuale, tuttavia, poiché tale studio è l'unica fonte rappresentativa a livello nazionale di dati, sulla qualità dell'acqua, disponibili,

la scoperta che il 13% dell'acqua raccolta da fonti trattate è a basso rischio sarà combinata con qualsiasi altra fonte di dati che emergere per produrre una stima ufficiale.

3.4 Legislazione

Il Ministero federale della sanità (FMOH) è responsabile per il monitoraggio e la sorveglianza della qualità dell'acqua. Il dipartimento di igiene e salute ambientale è responsabile dello sviluppo di linee guida politiche sulla sorveglianza della qualità dell'acqua. La FMOH non gestisce il proprio laboratorio di qualità dell'acqua, ma fa affidamento sulle strutture dell'Ethiopia Health and Nutrition Research Institute (EHNRI). Si tratta di un istituto di ricerca nazionale semi-autonomo con un proprio Consiglio di amministrazione, presieduto dal Ministro federale della sanità. La FMOH impone ai responsabili della fornitura di servizi sanitari alla popolazione, di effettuare la sorveglianza della qualità dell'acqua nelle regioni.

I risultati delle analisi vengono solitamente esaminati dal Dipartimento di Igiene e Salute Ambientale prima di rimandarli all'istituto sanitario. Se dimostrano che la qualità dell'acqua potabile è stata compromessa, i risultati vengono rinviati con raccomandazioni per azioni di follow-up (ad esempio indagini sanitarie, disinfezione della fornitura d'acqua). L'altra principale istituzione governativa in Etiopia coinvolta nella fornitura di acqua potabile è la FMOWR, questa ha il mandato di coordinare il settore dell'approvvigionamento idrico a livello nazionale e di definire una politica in materia di tariffe e di protezione delle risorse idriche. A livello regionale, gli uffici regionali delle risorse idriche sono responsabili della fornitura di acqua potabile, che prevede la pianificazione, lo sviluppo, la costruzione e la gestione delle risorse idriche. Sebbene la FMOWR e gli uffici regionali testino frequentemente la qualità dell'acqua da punti di acqua di nuova costruzione, non è obbligatorio testare nuovi sistemi idrici comunitari prima di essere consegnati alla comunità. In pratica, il monitoraggio della qualità dell'acqua potabile è applicato in modo insufficiente. Per molte ragioni, né la FMOH né la FMOWR seguono un approccio strutturato o addirittura coordinato. In parte, questo perché non ci sono risorse finanziarie, ma anche in parte a causa della scarsa logistica, delle scarse risorse umane, delle attrezzature di laboratorio inadeguate e della disponibilità limitata di reagenti a livello regionale. Sebbene il ruolo di ciascun ministero nel monitoraggio e nella sorveglianza della qualità dell'acqua sia definito formalmente, l'interazione e lo scambio di informazioni tra gli uffici regionali delle risorse idriche sono insufficienti.

Per garantire l'accesso all'acqua potabile, lo standard etiopico obbligatorio specifico per l'acqua potabile, CES-58 (Compulsory Ethiopian Standard for Drinking Water

Specification) delinea i requisiti fisici, chimici e batteriologici per l'acqua potabile e per l'utilizzo domestico. In linea con i nuovi obiettivi di sviluppo sostenibile, SDG, la legislazione etiope definisce standard di qualità e sicurezza conformi a tutti i requisiti tossici, batteriologici e organolettici. Inoltre, il secondo piano nazionale di crescita e trasformazione in Etiopia (GTP-2) per il settore dell'approvvigionamento idrico e dell'igiene (2015/16 - 2019/20), definisce i seguenti obiettivi per l'accessibilità e la disponibilità dell'acqua:

- Obiettivo 1.1: Fornire un livello di accesso minimo, per le zone rurali, all'approvvigionamento idrico di 25 litri pro-capite al giorno (l/ab/giorno) entro 1 km dal punto di consegna dell'acqua per l'85% della popolazione che si trova in contesti rutali, il 20% del quale è raggiunto da un acquedotto;
- Obiettivo 1.2: Fornire l'accesso nelle zone urbane alla rete idrica con un livello di servizio minimo di 100 l/ab/giorno per le città di Livello[1] I, 80 l/ab/giorno per la Livello II, 60 l/ab/giorno per la Livello III, 50 l/ab/giorno per la Livello IV fino ai locali e 40 l/ab/giorno per le città di Livello V entro 250 m, con un sistema di tubazioni per il 75% della popolazione urbana.

Il livello massimo ammissibile è un requisito il cui superamento squalifica l'acqua potabile e l'uso domestico a causa del suo probabile rischio per la salute.

3.4.1 Parametri CES-58

Il CES-58 stabilisce i seguenti livelli massimi ammissibili per l'acqua potabile:

- Requisiti fisici (CES-58): le caratteristiche fisiche dell'acqua potabile devono essere conformi ai livelli specificati nella Tabella 3-8.

Tabella 3-8 - Caratteristiche fisiche dell'acqua potabile

Characteristics	Maximum permissible level
Odor	Unobjectionable
Taste	Unobjectionable
Turbidity, NTU	5
Color, TCU	15

- Requisiti chimici (CES-58):
    - Proprietà di appetibilità: caratteristiche che influenzano l'appetibilità, l'acqua deve attenersi ai livelli specificati in Tabella 3-9.

[1] In base alla dimensione della popolazione, la classifica delle città è; Livello I, maggiore di 1.000.000; Livello II, 100.000-1.000.000; Livello III, 50.000-100.000; Livello IV, 20.000-50.000 e Livello V, meno di 20.000 popolazioni.

Tabella 3-9 – Limiti per l'appetibilità di acqua potabile secondo la normativa etiope

Substance or characteristic	Maximum permissible level
Total hardness ($CaCO_3$)	300
Total dissolved solids mg/Ll	1,000
Total Iron (Fe) mg/L	0.3
Manganese (Mn) mg/L	0.5
Ammonia (NH_3+NH_4+) mg/L	1.5
Residual free chlorine mg/L	0.5
Magnesium (Mg) mg/L	50
Calcium (Ca) mg/L	75
Copper (Cu) mg/L	2
Zinc (Zn) mg/L	5
Sulfate (SO_4) mg/L	250
Chloride (Cl) mg/L	250
Total alkalinity ($CaCO_3$) mg/L	200
Sodium (Na) mg/L	200
Potassium(k) mg/L	1.5
pH value, units	6.5 to 8.5 (permissible range)
Aluminum (Al) mg/L	0.2

- Contenuto di sostanze tossiche e/o patogene: le caratteristiche che influiscono sulla sicurezza dell'acqua potabile devono essere conformi ai livelli specificati in Tabella 3-10.

Tabella 3-10 - Contenuto massimo di sostanze tossiche e/o che causano malattie nell'acqua potabile

Substance or characteristic[1]	Maximum permissible level
Barium (Ba) mg/L	0.7
Total mercury (Hg) mg/L	0.001
Cadmium (Cd) mg/L	0.003
Arsenic (As) mg/L	0.01
Cyanide (CN) mg/L	0.07
Nitrate (NO_3) mg/L	3
Lead (Pb) mg/L	0.01
Boron (B) mg/L	0.3
Selenium (Se) mg/L	0.01
Fluoride (F) mg/L	1.5
Chromium (Cr) mg/L	0.05

[1]For other parameters, see CES-58, Ethiopian Standards Agency 2013.

- Requisiti batteriologici: tali requisiti batteriologici dell'acqua potabile non devono superare i livelli indicati in Tabella 3-11.

Tabella 3-11 - Livelli batteriologici limite

Organism	**Maximum permissible level**
Total viable organisms, colonies per mL	Must not be detectable
Fecal streptococci per 100 mL	Must not be detectable
Coliform organisms, number per 100 mL	Must not be detectable
E. coli, number per 100 mL	Must not be detectable

4. Addis Abeba

Addis Abeba, capitale dell'Etiopia, è una delle più grandi città dell'Africa con 3,3 milioni di abitanti (stima luglio 2015) (Figura 4.1). La moderna capitale si trova ai piedi del Monte Entoto ad un'altitudine di circa 2.400 metri, altitudine che le conferisce un clima mite per tutto il corso dell'anno. Le stagioni nella capitale Addis Abeba sono in gran parte caratterizzate da piogge, con una stagione secca, da ottobre a febbraio, una stagione delle piogge, da marzo a maggio, e una stagione di forti piogge, da giugno a settembre. Dalla sua fondazione, 133 anni fa, la città si è evoluta da un insieme di insediamenti sparsi a una città di 530 km^2. A causa dell'aumento della popolazione, la città deve fronteggiare sfide sempre maggiori per poter fornire ai suoi residenti un adeguato servizio idrico di acqua dolce e servizi igienico-sanitari.

Figura 4.1 – Posizione Città di Addis Abeba (http://it.maps-ethiopia.com/)

Addis Abeba si trova all'interno del bacino del fiume Akaki, che copre un'area di circa 11,5 mila km^2. Nel territorio della città vi sono quattro bacini artificiali, ovvero Legedadi, Gefersa, Dire e Aba Samuel. Ad eccezione di Aba Samuel, tutti i bacini idrici forniscono acqua per usi domestici e industriali. Il bacino idrico di Aba Samuel è stato costruito alla fine degli anni '30 per la produzione di elettricità, e oggi alcuni degli effluenti municipali e industriali sono scaricati in esso (*EPA 2005*).

La domanda di acqua potabile della città al 2006 era di 431.000 m^3/giorno e si prevede che questa raggiunga i 1,1 milioni m^3/giorno nel 2020.
Negli ultimi anni la città ha registrato una rapida crescita demografica e dato che il 60% circa della superficie della città è occupata da baraccopoli e un quarto delle case sono abusive, ciò ha peggiorato la situazione organizzativa della città. Questi trend di crescita della popolazione non sono però stati accompagnati da una corrispettiva crescista delle infrastrutture pubbliche e di servizi idrici. Attualmente la scarsità di adeguate risorse idriche per usi umani rappresenta una grande sfida, in particolare per le popolazioni che vivono nelle baraccopoli.

4.1 Risorsa idrica della città

Il fiume Akaki è costituito da due rami principali, il "piccolo Akaki" che attraversa la parte occidentale della città, si eleva a nord-ovest di Addis Abeba sui fianchi del monte Wechacha e scorre per 40 km prima di raggiungere il bacino idrico e il "grande Akaki" che scorre attraverso la parte orientale della città, sorge nella parte nord-orientale dell'area Addis Abeba e sfocia nel bacino di Aba-Samuel dopo 53 km.
Attualmente, la produzione giornaliera totale di acqua è di 300.000 m^3 proveniente da Legedadi (165.000 m^3), Gefersa (30.000 m^3) e acqua sotterranea principalmente da pozzo (105.000 m^3) (AAWSA, 2013). Della totale quantità di acqua erogata, l'acqua superficiale contribuisce al 65% e il restante 35% è dato dalle acque sotterranee. La Water utility locale riporta un totale di 327.996 connessioni per oltre 3 milioni di persone, di queste, 284.664 è il numero di connessioni domestiche, 41.822 non domestici e 1.510 sono rubinetti pubblici.
Secondo l'AAWSA (2011), nella città di Addis Abeba, le perdite di acqua è stimata tra il 36% e il 40%, circa 110.058 m^3 di perdite d'acqua al giorno, tale perdita raggiunge il 60% in base alle condizioni zonali dell'acquedotto e delle fognature. Queste perdite significative non solo causano difficoltà nel recupero dei costi, ma limitano anche il numero di consumatori che ricevono acqua sufficiente e spingono a razionare l'acqua in alcune aree.
La copertura dell'approvvigionamento idrico è di soli 300 km^2 a fronte di una superficie di 530 km^2 dell'area urbana. Le persone che hanno l'allacciamento al servizio di distribuzione di acqua cittadino in casa consumano in media tra 80 e 100 l/giorno, mentre quelli serviti attraverso rubinetti pubblici consumano in media tra 15 e 30 l/giorno.
L'aumento della popolazione, l'urbanizzazione incontrollata e le inadeguate infrastrutture igienico-sanitarie causano un serio degrado della qualità delle acque superficiali. L'inquinamento idrico derivante dallo smaltimento di acque reflue industriali sta diventando un problema ambientale sempre più rilevante nella città di Addis Abeba e nelle

sue aree limitrofe, dove si trovano la maggior parte (oltre il 40%) delle industrie manifatturiere di grandi e medie dimensioni. I flussi di acqua nei fiumi presentano un peggioramento delle loro caratteristiche durante l'attraversamento della città. Gli inquinanti possono entrare nelle acque superficiali da fonti puntuali come scarichi industriali, ma la maggior parte degli inquinanti proviene da fonti diffuse (deflusso da terreni agricoli, aree urbane, cantieri, siti industriali e fosse settiche). Ne deriva che l'inquinamento dei fiumi di Addis Abeba, in particolare il fiume Akaki, è motivo di preoccupazione per molti studiosi, istituzioni, comunità colpite e molti gruppi ambientalisti. Anche se Addis Abeba è l'unica città con reti fognarie, ha una copertura di queste molto limitata solo il 7,5% delle aree edificate. Poiché solo alcune parti della città sono collegate al sistema fognario centrale le restanti aree residenziali e commerciali utilizzano fosse settiche o sversano direttamente nei fiumi. Attualmente sempre maggiori sforzi sono fatti per controllare e migliorare le condizioni dei fiumi ad Addis Abeba da parte dell'amministrazione della città, ma questi sforzi sono molto limitati e non affrontano l'intero problema dell'inquinamento in città sia a causa della disponibilità economica e della situazione sociale.

4.2 Fonti di inquinamento ad Addis Abeba

Una buona gestione delle risorse idriche dovrebbe essere basata su una panoramica dell'evoluzione del passato utilizzo dell'acqua, una comprensione della domanda attuale, nonché una consapevolezza delle possibili tendenze future. Al fine di comprendere la passata tendenza all'utilizzo dell'acqua, l'attuale utilizzo dell'acqua e la probabile futura domanda di acqua e le condizioni di fornitura della città di Addis Abeba, gli scenari futuri sono sviluppati sulla base di proiezioni plausibili. La qualità dei bacini idrici e fluviali può essere influenzata dall'inquinamento proveniente da fonti puntuali o diffuse. Le sorgenti puntuali sono identificabili ad esempio in fabbriche le cui condutture o canali scaricano direttamente in un corpo idrico superficiale. Le acque sotterranee sono anche esse colpite da fonti puntuali di inquinamento, i contaminanti penetrano nel terreno e raggiungono la risorsa, ad esempio serbatoi di carburante sotterranei, fosse settiche o latrine. Le fonti diffuse sono quelle in cui l'inquinamento si manifesta su una vasta area ed è spesso difficile individuare il luogo esatto di origine, ne consegue la difficolta nel gestirle e controllarle, ad esempio, fertilizzanti o pesticidi ampiamente diffusi in agricoltura, possono essere dilavati dai campi dalla pioggia e trasportati in fiumi, ruscelli o filtrare nelle acque sotterranee, oppure il deflusso urbano ed industriale associati alle attività di costruzione o residui da attività di miniera. Queste attività possono introdurre sostanze nocive, nutrienti, batteri,

rifiuti organici, sostanze chimiche e metalli nelle acque superficiali e/o sotterranee. Poiché la città ha strutture di gestione dei rifiuti solidi e liquidi inadeguati e inefficienti, tutte le fonti puntuali e non puntuali della città scaricano i loro effluenti direttamente o indirettamente nei fiumi vicini. I rifiuti solidi generati vengono spesso smaltiti in spazi aperti, dove vengono dilavati dal deflusso durante le piogge raggiungendo i fiumi e infiltrandosi negli acquiferi superficiali. Secondo il *Sanitation Beautification and Parks Development Agency* (SBPDA) ogni giorno viene prodotto un totale di 2.256 m^3 o 851 tonnellate di rifiuti solidi, di cui il 65% è raccolto e smaltito in discarica, circa il 10% dei rifiuti è compostato e riciclato mentre il restante 25% viene scaricato in spazi aperti, fossati e corpi idrici (*CGASBPDA, 2003*). Un altro studio più recente riporta invece che circa il 35% dei rifiuti solidi generati ad Addis Abeba viene scaricato in spazi aperti, canali di drenaggio e fiumi (*Alebel et al, 2011*).

Le maggiori fonti di rifiuti solidi vengono generati dalle famiglie (76%), dalle istituzioni, dai commerci, dalle fabbriche, dagli alberghi (18%) e il 6% dalle strade. Oltre ai rifiuti solidi, le acque reflue contribuiscono in modo determinante all'inquinamento delle acque ad Addis Abeba. Lo scarico nei fiumi di rifiuti liquidi domestici, industriali, commerciali e istituzionali non trattati e l'uso di terreni agricoli sono i principali fattori di stress ambientale che hanno colpito la qualità dell'acqua dei fiumi. Addis Abeba genera un volume annuale stimato di 49 milioni di m^3 di acque reflue totali, di cui circa 4 milioni di m^3 sono acque reflue industriali. Tutti i rifiuti scaricati in altri luoghi raggiungono i fiumi durante gli eventi piovosi. Pertanto, i fiumi e le riserve idriche di Addis Abeba sono inquinati da rifiuti solidi e liquidi industriali e municipali. L'acqua del fiume, inquinata, è utilizzata a valle per la coltivazione di verdure che vengono successivamente consumate dagli abitanti della città oltre che utilizzata per abbeverare gli allevamenti, anche essi consumati successivamente dalla popolazione. (Figura 4.2).

Figura 4.2 – utilizzo dell'acqua dei fiumi di Addis Abeba per agricoltura e allevamento

4.2.1 Rifiuti industriali

Addis Abeba è la patria di oltre 2.000 industrie che comprendono il 65% di tutte le industrie del paese che si trovano principalmente nelle parti occidentale e meridionale della città, la maggior parte di esse è situata lungo le sponde del fiume e scarica effluenti direttamente in esso. Le industrie predominanti in Addis Abeba possono essere classificate come segue: industrie alimentari, lavorazione di cuoio, calzature, legno, carta, tessuti, tabacco, prodotti chimici e lavorazione di metalli. Il 90% di queste industrie non ha alcun tipo di impianto di trattamento e scarica i rifiuti solidi, liquidi e gassosi non trattati nel corso d'acqua (*Leta et al. 2004*). Altri impianti industriali hanno sistemi di trattamento in loco. I fiumi ad Addis Abeba sono inquinati da vari contaminanti provenienti dalle varie industrie, in Tabella 4-1 è rappresentato uno schema riassuntivo dei principali inquinanti in base alla tipologia di industria.

Tabella 4-1 – Sostante inquinanti maggiormente presenti che vengono scaricate nei fiumi (EPA)

No.	Type of Factories	Pollutant Substances
1	Food and Beverages	NaOH, detergents fuel combustion
2	Textile, Leather and Leather products	Water pollutants, e.g. Chromium, sulphides, ammonium salts, chlorides, etc.
3	Steel and Wood products	Paint, iron rusts, Varnish, etc.
4	Paper and paper products	Printing chemicals, Lead
5	Non-metal Materials	Air Pollutants: Dust and Particulates, fuel combustion, etc.

4.2.2 Rifiuti municipali

Nonostante la produzione di grandi quantità di rifiuti solidi provenienti da attività domestiche, Addis Abeba non dispone di adeguate strutture per la gestione dei rifiuti prodotti. Di conseguenza, i rifiuti solidi vengono spesso ammassati su terreni aperti, banchine dove facilmente raggiungono, per dilavamento durante gli eventi meteorici, le acque superficiali. Il sondaggio *Etiopia Mini Demographic and Health Survey (EMDHS, 2014)* ha evidenziato che solo il 4,5% della popolazione cittadina ha accesso a bagni e latrine ventilate, il 65% ha una latrina e il 25% dei residenti della città non ha servizi igienici. La maggior parte delle case residenziali, istituzioni che forniscono servizi, strutture commerciali e simili costruite ai margini dei fiumi della città sversano direttamente nei fiumi senza alcun trattamento (Figura 4.3).

Figura 4.3 – Scarichi di acque reflue domestiche nel fiume Little Akaki (Yohannes and Elias 2017)

I fiumi della città sono carenti di flora e fauna (diversità acquatica) a causa delle condizioni di inquinamento degli stessi. Il 90% delle rive dei fiumi che attraversano il principale asse est-ovest sono invase da strutture abusive, ne consegue che gran parte della comunità è anche esposta al rischio di inondazioni (*Eyob, 2004*) (Figura 4.4 e Figura 4.5).

Figura 4.4 – edificazioni abusive nelle sponde dei fiumi

Figura 4.5 - Insediamento abusivi vicino ai fiumi di Addis Abeba

4.2.3 Rifiuti medici

Uno studio del *Federal Environmental Protection Authority* (FEPA) ha rilevato che 430,7 tonnellate di rifiuti infettivi sono generati dalle 29 strutture ospedaliere situate ad Addis Abeba. Esempi di rifiuti clinici contagiosi includono colture di laboratorio, medicazioni, sangue e altri fluidi corporei. Sebbene la maggior parte degli ospedali disponga di impianti per il trattamento dei rifiuti, alcuni dei rifiuti clinici raggiungono i fiumi.

4.3 Inquinamento dei fiumi e dei bacini idrici di Addis Abeba

4.3.1 La condizione dei Fiumi

Il fiume Akaki è il sistema fluviale più inquinato del paese (Figura 4.6), la qualità dell'acqua in quasi tutti i siti valutati lungo tale fiume risulta essere non conforme allo standard di qualità dell'acqua fluviale (*Mersha, 2012*). Tale deterioramento proviene da diverse fonti di inquinamento sia puntuale (scarichi industriali, acque reflue urbane, rifiuti ospedalieri, ecc.), che diffuso (es. deflusso agricolo), anche le falde acquifere del fiume Akaki sono soggette ad un grave inquinamento.

Figura 4.6 – Fiume Akaki (Alemayehu et al.)

La classificazione generale della qualità dell'acqua del fiume è pessima. Parametri come ioni, metalli pesanti e coliformi fecali sono tra i principali inquinanti che compromettono la qualità dell'acqua. In particolare, il "piccolo Akaki", più inquinato del "grande Akaki", ha un colore verdastro-scuro caratteristico, dato dai sedimenti scuri ed un particolare odore pungente provocato dalla presenza dei rifiuti domestici e industriali. La maggior parte delle industrie (concerie, birrerie, cantine, distillerie ed industrie farmaceutiche) sono situate lungo il corso del "piccolo Akaki" e dei suoi principali affluenti. Le concentrazioni presenti nel "piccolo Akaki" superano i limiti ammissibili dell'OMS (Organizzazione mondiale della sanità), della Comunità europea e degli standard etiopi relativi all'acqua potabile, all'irrigazione e ad altri usi (*Aschale et al., 2015*). Le indagini idrologiche condotte nell'area del Akaki hanno dimostrato che, il 70%, dalla quantità di acqua fornita alla città di Addis Abeba ritorna sotto forma di acque reflue di cui il 60% scorre nel fiume Akaki. La qualità dell'acqua del fiume è cambiata notevolmente negli ultimi dieci anni (Tabella 4-2). La maggior parte della fauna e della flora caratteristica dei due fiumi è scomparsa nel corso degli anni a causa dell'alto livello di inquinamento.

Tabella 4-2 – Andamento dell'inquinamento nel Little Akaki (Yohannes and Elias 2017)

Parameters (mg/l)	Studi in				Standard limits			
	2008	2011	2013	2015	WHO	EU	MoWR	AAWSA
BOD_5	130	84.35	3980	-		70-90		650
COD	356	219.11	11546.6			75		
TDS		432.58			1000	500	2175.9	1000
TSS		123.41	3835.33			90		
Nitrate	7.59	38.49	1513.33		50	50	130.57	50
T. Phosphate	3.94	24.07			0.54			
T. Ammonia		0.495	103.33		1.5		2.08	1.5
Chromium	0.029	78.41		67.04	0.05	0.05		0.05
Cadmium	0.009	0.098		0.06	0.3	0.005	0.003	0.003
Arsenic		0.43		1.46	0.05	0.05		0.1
Iron		2437.5		1075.9	0.3	0.2	0.38	0.3
Copper		24.96		67.04	1	0.1 - 0.3	1.93	1
Mercury		0.4		<0.05	0.001	0.01		0.001
Cobalt	0.048	36.55		3.13				
Zinc				25.5	5	0.1 - 5	6.05	3
Manganese				1540.04	0.1	0.05	0.13	0.5
Fecal coliform/100 ml	6.68×10^9	1613666.58		2.08×10^5	0	0	0	0
Total coliform/100 ml		5660433		1.35×10^6	0	0	0	0

Altro fiume che attraversa la città di Addis Abeba e il fiume Kebena che fluisce da Nord verso Sud. Una campagna di misurazioni ha dimostrato che la maggior parte dei parametri (pH, sodio, calcio, magnesio, COD e manganese) aumentano lungo la direzione del flusso, altri parametri (solfato, nitrato e arsenico) invece subiscono una riduzione lungo la direzione del flusso (*Alemayehu, 2001*) (Tabella 4-3).

Tabella 4-3 – misure fisicochimiche del fiume Kebena (Alemayehu, 2001)

Selected physiochemical parameters	Kebena stream		
	Up stream	Near German Embassy	Near Ureal Church
pH	6.08	7.22	7.48
Sodium (mg/l)	15	74	28
Calcium (mg/l)	6	21	17
Magnesium (mg/l)	15	67	36
Sulphate (mg/l)	23	19.7	9.26
Phosphate (mg/l)	Nd	Nd	2.09
Nitrate (mg/l)	531	188.14	8.96
COD (mg/l)	14.4	27.2	20
Chromium (µg/l)	0	0	0
Manganese (µg/l)	12.3	6531.6	1219.01
Nickel (µg/l)	0	0	0
Zinc (µg/l)	0	0	0
Arsenic (µg/l)	1.24	0	0.59
Lead (µg/l)	0	0	0

Dalle analisi ottenute, il fiume Kebena mostra una buona qualità delle acque ed ha uno stato migliore rispetto al fiume Akaki. È da evidenziare che le analisi disponibili, di natura chimico-fisica, risalgono al 2001, quindi è probabile che la situazione attuale sia cambiata

anche a causa dell'industrializzazione che sta vivendo la citta. Inoltre, non è stato possibile trovare in letteratura analisi biologiche aggiornate rappresentative della condizione del fiume. L'aumento della concentrazione di manganese nel fiume, può essere dovuto alla geologia dell'alveo dello stesso.

Il fiume Bulbula è uno dei fiumi che attraversano la parte interna della città. Utilizzato principalmente come discarica per tutte le forme di rifiuti. L'industria metallurgica etiope ha scarichi giornalieri domestici ed industriali di 21 m^3 ed è la principale fonte di inquinamento fluviale del fiume Bulbula. Questo fiume viene utilizzato anche per irrigare parte del Peacock Park, parco molto importante della città. Come mostrato in Tabella 4-4, nel terreno di limitrofo al fiume Bulbula, il nickel e lo zinco superano il livello massimo consentito, rispettivamente di 50 mg/kg e 300 mg/kg (*Itanna, 2002*).

Tabella 4-4 – Accumulo di metalli pesanti nell'acqua e nel terreno del fiume Bulbula (Yohannes and Elias, 2017)

Parameters	Concentration in water (µg/L)	Concentration in soil (mg/kg)
As	1.70	5.19
Cd	0.07	0.71
Co	2.69	27.95
Cu	12.4	38.96
Ni	2.26	74.13
Pb	14.10	46.74
Zn	50.37	2985.50

Le analisi hanno anche evidenziato un aumento delle concentrazioni in direzione del flusso del fiume (Tilahun, 2007). (Tabella 4-5)

Tabella 4-5 - Qualità dell'acqua del fiume Bulbula lungo il tragitto di attraversamento della città (Yohannes and Elias, 2017)

		Sampling Sites		
Parameters	**Symbol**	**Upper Zone**	**Middle Zone**	**Lower Zone**
Electrical Conductivity	EC (mmhos/cm)	0.069 ± 10.3	0.8 ± 23.3	0.91 ± 82.3
pH	pH	6.37 ± 0.16	7.49 ± 0.1	7.37 ± 0.06
Chloride	Cl^{-**}	0.75 ± 0.07	90.11 ± 3.7	71.5 ± 6.45
Sulfate	So_4^{-2}	0.04 ± 1.5	0.48 ± 1.2	0.61 ± 2.98
Nitrate	No_{3-}	5.75 ± 3.31	3.45 ± 2.66	0.23 ± 0.4
Phosphate	Po_4^{-3}	1.03 ± 0.28	6.29 ± 1.12	18.44 ± 7.9
Zinc	Zn^{2+}	0*	0	0
Copper	Cu^{2+}	0	0	0
Chromium	Cr^{2+}	0	0	0
Lead	Pb^{2+}	0	0	0
Iron	Fe^{2+}	0.1 ± 0.0	0.17 ± 0.05	0.38 ± 0.11
Manganese	Mn^{2+}	0	0.38 ± 0.45	0.096 ± 0.46
**Values are in mg/l except for So_4^{-2}, EC and pH				
*Zero values represent below detection level				

4.3.2 Serbatoi d'acqua

Le falde acquifere all'interno e intorno alla città di Addis Abeba mostrano segni di una crescente contaminazione da sostanze chimiche. Vi è anche una crescente concentrazione di metalli pesanti, coliformi e patogeni nelle acque del lago Aba Samuel e dei suoi affluenti. Inoltre, poiché contiene un livello superiore di Cadmio e Magnesio disciolti, che provengono da siti di estrazione mineraria, rispetto al livello massimo raccomandato, l'acqua non è adatta all'utilizzo domestico.

4.4 Impatti

4.4.1 Impatto ambientale e sociale

La maggior parte delle industrie si trova ad Addis Abeba (65% del totale del paese) esse hanno impatti socioeconomici, politici e ambientali. L'odore pungente di acque reflue è comune nella maggior parte degli scarichi stradali delle città e la maggior parte dei fiumi lungo le principali zone industriali è eccessivamente inquinata. Tutto contribuisce alla trasmissione di malattie di cui l'acqua è il vettore, diminuisce la qualità della vita e mina l'attrattiva delle città agli investitori stranieri e la competitività del turismo (*FDRE, 2015*).

Agenti patogeni, composti organici, prodotti chimici sintetici, microplastiche, sostanze nutritive e metalli pesanti sono alcuni degli elementi che inquinano l'acqua dolce. Lo scarico non regolamentato delle acque reflue mina la bio-diversità, la resilienza naturale e la capacità di fornire servizi ecosistemici fondamentali. La contaminazione delle acque

superficiali da parte dei metalli pesanti è un serio problema ecologico poiché, molti metalli pesanti come Hg, As, Pb, Sb, Ni, Sr e Cd sono tossici anche a basse concentrazioni, non sono degradabili e possono accumularsi nel corpo umano e causare danni al sistema nervoso e agli organi interni. Sebbene alcuni metalli come Cu, Fe, Mn e Zn siano micronutrienti essenziali per gli organismi viventi, diventano dannosi a concentrazioni elevate. Le fonti antropogeniche di metalli pesanti sono associate principalmente agli effluenti industriali e domestici, al deflusso superficiale, al percolato di discarica, all'estrazione di carbone e minerali, e all'attività agricola. Il rapporto del *ministry of water and energy* (2011) riporta che le falde acquifere poco profonde a sud di Addis Abeba sono più soggette a contaminazione, mentre il rischio di inquinamento per l'acquifero superficiale a nord della città è inferiore. Ad esempio, le acque reflue, i rifiuti e gli inquinanti tossici vengono continuamente smaltiti nel fiume Akaki. Un altro effetto ambientale dell'inquinamento delle fonti idriche di Addis Abeba è l'eutrofizzazione, causato da un uso eccessivo di fosforo e azoto in agricoltura e dagli scarichi di fognature e latrine e rifiuti urbani. L'eutrofizzazione causa la crescita di alghe e erbe infestanti, che riducono il livello di ossigeno dei corpi idrici che, a loro volta, influenzano la fauna e la flora acquatiche. La concentrazione di nutrienti nel lago di Aba Samuel è molto alta, il che innesca la fioritura algale e di giacinto d'acqua (Eichhornia crassipes) (*Solomon, 2007*) (Figura 4.7 e Figura 4.8).

Figura 4.7 - Eutrofizzazione nel lago Aba Samuel (Solomon, 2007)

Figura 4.8 - Aba Samuel lago coperto da giacinto d'acqua (Solomon, 2007)

Le industrie stanno contribuendo al degrado della qualità della vita, in linea di principio queste dovrebbero avere lo scopo di migliorare la vita dei cittadini, ma i benefici che le persone traggono dalle industrie sono minori rispetto ai problemi generati. Le ricerche finora condotte sulla vegetazione cresciuta in terreni inquinati e irrigati dalle acque di Addis Abeba mostrano che le verdure accumulano grandi concentrazioni di metalli pesanti, superiori al limite massimo raccomandato (*Addisu, 2009*). Una grande varietà di ortaggi viene prodotta usando l'acqua del fiume Akaki, circa 390 ettari di terreno irrigato producono patate che contengono elementi tossici come zinco, nichel, mercurio, rame, cadmio e cromo, così come la barbabietola rossa e le cipolle che contengono cromo (*Gebre e Rooijen, 2009*). In Tabella 4-6 vengono riportate i possibili rischi dovuti all'assunzione di metalli pesanti attraverso il cibo.

Tabella 4-6 – Potenziali effetti dei metalli pesanti sull'uomo (Yohannes and Elias, 2017)

	Potential Health Effects
Arsenic	Gastrointestinal, skin and nerve damage, cancer
Cadmium	Gastrointestinal, kidney and lung damage
Chromium	Lung and skin damage, cancer
Lead	Nervous and immune system and kidney damage embryo/feto toxic
Mercury	Brain and kidney damage, embryo/feto toxic
Nickel	Lung, brain, kidney, liver, spleen and skin damage, cancer

Altre verdure campione prese in esame:

- Carota → arsenico alto;
- Lattuga → cadmio e cromo alti;
- Bietole → ferro e zinco alti;
- Cavolo → alta concentrazione di piombo.

4.4.2 Impatto economico

L'acqua inquinata ha due tipi di costi economici: costi diretti dovuti all'inquinamento che riduce la quantità totale di acqua disponibile per il consumo umano, uso agricolo e industriale e costi indiretti legati all'uso di un'acqua inquinata. I costi legati all'utilizzo di acqua contaminata per la produzione si riferiscono alla diminuzione della qualità e della quantità dei prodotti. Non vi sono studi che rivelano l'impatto economico dell'inquinamento nei fiumi di Addis Abeba.

4.5 Attuale approccio alla gestione dell'inquinamento fluviale

Investitori governativi e privati partecipano alle attività di sviluppo dei servizi igienico-sanitari e ambientali nella città di Addis Abeba. *L'Addis Abeba environmental protection agency* (AAEPA) cioè l'autorità per la protezione ambientale ha messo in atto politiche e standard per il controllo dell'inquinamento ambientale, questa ha il compito di controllare l'inquinamento nei fiumi della città di Addis Abeba. Sebbene questa l'autorità faccia diverse ricerche sullo stato di inquinamento dei fiumi della città, in particolare sul fiume Akaki, non vi è l'attuazione delle politiche di penalizzazione per le industrie che non rispettano i regolamenti in vigore e scaricano rifiuti senza trattamento nei fiumi. Tuttavia, dal rapporto dell'AAEPA si evince che è molto difficile adottare misure poiché le fonti di inquinamento sono difficili da identificare.

4.5.1 Rifiuti liquidi

Attualmente, le amministrazioni cittadine sono i principali fornitori di servizi di raccolta dei reflui, sebbene vi siano operatori privati che forniscono servizi di svuotamento di fosse settiche. I rifiuti liquidi della città vengono gestiti dall'*Addis Ababa Water & Sewerage Authority* (AAWSA), che attualmente tratta meno del 10 percento dei rifiuti liquidi della città (*AAWSA, 2008*). L'Autorità utilizza un metodo di trattamento dei rifiuti liquidi ibrido, cioè una combinazione di trattamento centralizzato e decentralizzato.

Per trattamento centralizzato delle acque reflue si intende il trattamento dei residui delle acque reflue civili e dei sottoprodotti dei processi industriali conferiti attraverso la rete fognaria o in altro modo all'impianto di trattamento. Nelle aree in cui i servizi di gestione dei rifiuti non sono accessibili tramite mezzi convenzionali, la responsabilità della gestione ricade sui singoli individui. Il sistema di gestione dei rifiuti decentralizzato è un approccio basato sul concetto di integrazione di sistemi periferici urbani all'interno di iniziative di pianificazione urbana. Pertanto, è importante combinare questi approcci basati su situazioni diverse.

Il primo sistema centralizzato di raccolta delle acque reflue ad Addis Abeba è stato istituito negli anni 60 ed è stato progettato per la raccolta e il trasporto delle acque reflue in un impianto di trattamento situato a Kaliti (Figura 4.9). Con una capacità di 7.600 m^3/giorno, il sistema Kaliti è stato progettato per servire solo 200.000 abitanti con un carico organico (BOD_5) di 3.500 kg/giorno. Quando funziona a pieno regime, l'impianto di trattamento delle acque reflue serve meno del 10% delle aree residenziali collegate al sistema (EPA 2005). Il secondo impianto di trattamento delle acque reflue è stato istituito a Kotebe e ha una capacità di 30.000 m^3/giorno (EPA 2005), sufficiente per servire 800.000 residenti. Le case che non sono collegate agli impianti di trattamento delle acque reflue smaltiscono i propri reflui in maniera incontrollata (van Rooijen e Taddesse 2009). L'impianto di trattamento orientale di Kotebe, non è più in funzione ed è semplicemente utilizzato per l'essiccazione dei fanghi provenienti dalle latrine e dalle fosse settiche.

Figura 4.9 – Vista dell'impianto di trattamento Kaliti

L'impianto di trattamento di Kaliti è situato nella zona industriale di Addis Abeba e ricopre una superficie di circa 40 ettari di terreno. È composto da trattamenti preliminari (grigliatura grossolana e fine e dissabiatura), reattori biologici, letti percolatori, trattamento terziario e trattamento dei fanghi (letti di essiccazione), dopo il trattamento sversa il refluo trattato nel Piccolo Akaki. L'impianto include anche il sistema per la ricezione dei fanghi provenienti dalle fosse settiche e il sistema di ricezione e pretrattamento dei liquami

provenienti dalle latrine conferiti all'impianto dai camion. Il trattamento principale in questo impianto riguarda essenzialmente la circolazione di acque reflue in due linee di trattamento parallele, ciascuna avente due stagni biologici facoltativi e in serie due stagni di maturazione, aventi un tempo di detenzione complessivo di 30 giorni, durante i quali la concentrazione di BOD scende al di sotto di 5 mg/l. Con la denominazione di stagni biologici vengono generalmente indicati particolari tipi di bacini, in cui le acque reflue temporaneamente stoccate, subiscono un'azione depuratrice. Le caratteristiche di tali bacini sono altamente diversificate, in funzione del tipo di metabolismo che in essi si verifica e delle modalità di riempimento. La classificazione principale degli stagni è quella in funzione del tipo metabolismo prevalente nello stagno, strettamente legato alle sue modalità di aereazione, tra queste tipologie troviamo gli stagni biologici facoltativi e stagni di maturazione:

- negli stagni facoltativi gli effetti della ri-aerazione atmosferica e dell'ossigenazione fotosintetica non si risentono nell'intera colonna d'acqua, di conseguenza, l'azione depuratrice si sviluppa in due modi distinti: negli strati superiori dello stagno, l'ambiente è aerobico, invece sul fondo, e quindi negli strati profondi della fase liquida e nei fanghi, il metabolismo è anaerobico.
- gli stagni di maturazione o di affinamento, possono essere di tipo aerobico o facoltativo, sono utilizzati per il trattamento terziario dei reflui già parzialmente depurati, allo scopo di ridurre il contenuto di nutrienti e, principalmente, la carica batterica.

La configurazione in serie permetti di sfruttare al meglio le caratteristiche di ciascun tipo di stagno. Uno dei problemi fondamentali di tale tecnologia è la necessità di grandi superfici, non sempre disponibili.

L'impianto di Kaliti attualmente riceve in media solo 4.600 m^3/giorno di reflui provenienti dalla rete fognaria e i fanghi conferiti dai camion che li raccolgono delle fosse e delle latrine. Se si considera una lunghezza totale della rete di fognatura, che porta i reflui all'impianto, di 120 km e un tasso di disperdimento medio di 0,25 litri/secondo/km, è possibile valutare che le perdite in fognatura sono di circa 3.000 m^3/giorno (*AAWSA, 2002*). Questo ovviamente dovuto alle perdite in fognatura che fanno sì che le acque reflue vengono rilasciate e si infiltrano nel terreno. Analizzando l'afflusso medio mensile dell'impianto di Kaliti (Figura 4.10) è possibile rilevare che durante la stagione piovosa l'afflusso di acqua in superficie può raddoppiare i flussi della stagione secca.

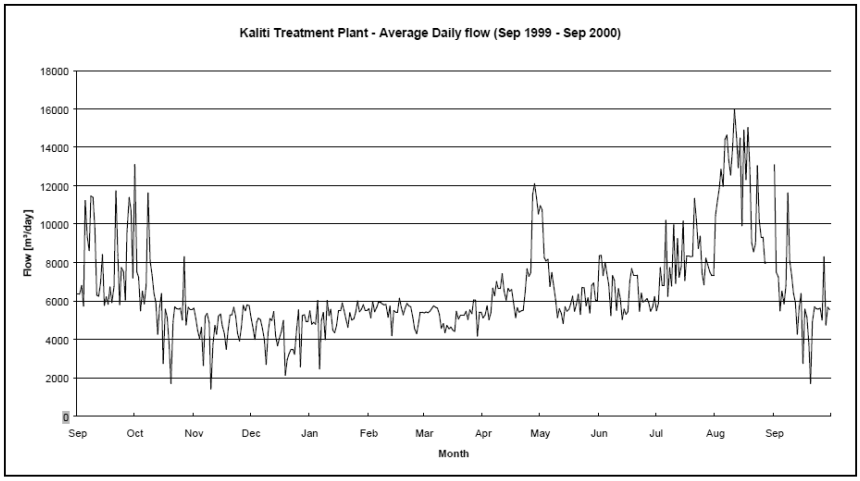


Figure 1-2 Average daily flows to Kaliti treatment works (source : AAWSA)

Figura 4.10 – portata media mensile dell'impianto di trattamento Kaliti (AAWSA, 2002)

I fanghi delle latrine a secco e delle fosse settiche sono trattati negli impianti di Kaliti e Kotebe. I letti di essiccazione dei fanghi e le lagune di Kaliti sono in grado di trattare circa 125.000 m³/anno di fanghi e sono composti da 8 letti di essiccazione e un bacino di stoccaggio dei fanghi. L'impianto di smaltimento dei fanghi di Kotebe ha una capacità di trattamento di circa 150.000 m³/anno e comprende 20 letti di essiccazione e 10 bacini di stoccaggio. I bacini di stoccaggio dei fanghi vengono utilizzati nella stagione delle piogge per immagazzinare il fango fino alla successiva stagione secca, durante il quale il fango è pompato da questi bacini direttamente nei letti di essiccazione.

Nella città, la maggior parte della popolazione utilizza strutture igienico-sanitarie in loco e una parte minore utilizza strutture esterne, mentre una percentuale significativa utilizza i campi aperti e i drenaggi di acque piovane per lo smaltimento dei rifiuti liquidi.

Il trattamento decentralizzato delle acque reflue rilascia la risorsa trattata vicino alla sua fonte e minimizza gli sversamenti superficiali. Sono tecnologie su piccola scala, come membrane e filtri naturali, che utilizzano i terreni e le caratteristiche locali in modo intelligente.

I trattamenti decentralizzati sono adoperati per servire più famiglie insieme, aree condominiali, università, industrie e istituzioni private e governative. In base alla tipologia di sistemi che si adottano possono essere necessarie reti fognarie, pozzi neri o vasche Imhoff. Lagune, impianti di fitodepurazione e stagni di stabilizzazione sono tra le tecnologie più economiche ed utilizzate per smaltire gli effluenti.

La situazione sanitaria del contesto urbano fornisce uno strumento utile per valutare lo stato locale delle misure igienico-sanitarie in una comunità, un comune o una regione, puntando a strategie di gestione delle acque reflue ottimali.

Gli approcci possono anche variare in base alla qualità dello standard richiesto per gli utenti finali o allo smaltimento finale.

Per il trattamento decentralizzato, l'AAWSA utilizza principalmente vasche di ossidazione dislocate in maniera da raggruppare le zone non collegate al sistema fognario centralizzato, ma queste richiedono spazio (Figura 4.11).

Figura 4.11 – Sistemi di trattamento decentralizzato Addis Abeba

In alcuni condomini della città, per ridurre le richieste di spazio dei sistemi precedentemente detti ed aumentare l'efficienza di trattamento, si è cominciato ad utilizzare la più avanzata tecnologia a membrana. Questa tecnologia realizza una separazione tra due fluidi, attraverso una barriera selettiva (la membrana stessa), che viene attraversata solamente da alcune delle sostanze presenti nei fluidi mentre è poco (o per nulla) permeabile alle altre. I processi a membrana tradizionali possono essere suddivisi essenzialmente in due grandi categorie, a seconda della forza motrice che rende possibile il trasporto dell'acqua (la pressione o un campo elettrico) e delle specie chimiche presenti in soluzione attraverso la membrana. Nel primo caso si hanno membrane permselettive o semi-selettive che trattengono parte o tutti i composti in soluzione. Questo gruppo comprende membrane a maglie via via più strette che permettono, oltre al passaggio dell'acqua, anche quello di una frazione dei composti presenti in soluzione. Questi processi si differenziano in base al tipo di membrane impiegate (materiali, passante, …) e al range di pressione utilizzato per operare. Infatti, questi processi chiamati anche di "filtrazione" (micro, ultra, nano e iperfiltrazione, rispettivamente MF, UF, NF, IF) si avvalgono di differenze di pressione più o meno elevate (da pressioni anche inferiori a 1 bar per la microfiltrazione sino a salire progressivamente ad oltre 70 bar per l'iperfiltrazione o osmosi inversa) per consentire il passaggio del permeato oltre la membrana stessa,

attraverso le porosità che la costituiscono. Invece nel processo di Elettrodialisi (ED) gli ioni attraversano selettivamente le membrane sotto l'azione di un campo elettrico, trasportando anche un limitato quantitativo di acqua; si utilizzano per tale processo membrane cariche contenenti apprezzabili densità di gruppi di scambio fissi negativi o positivi come nel caso delle resine a scambio ionico.

Le industrie più facoltose che puntano ad un maggiore rispetto dell'ambienta hanno dei sistemi di trattamento dei reflui generati. La tecnologia più utilizzata per i rifiuti industriali è la tecnologia Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Questo reattore è considerato uno dei sistemi anaerobici di maggior successo, in grado di formare aggregati densi e di conseguenza consentendo alte prestazioni, grazie al design semplice, alla facilità di costruzione e manutenzione, ai bassi costi operativi e alla capacità di resistere a fluttuazioni di pH, temperatura e concentrazione del substrato in ingresso (*Kalyushnyi V. et al., 2006*).

5. Possibili opzioni di miglioramento - Fitodepurazione

Il tasso di produzione dei rifiuti liquidi, nella città di Addis Abeba, è in continuo aumento questo indica che il problema diventa sempre più cruciale e che richiede l'introduzione di tecniche di trattamento a basso costo che utilizzano materie prime locali disponibili in abbondanza (*Dunfa e Krishna, 2011)*. Questi interventi non solo mitigherebbero l'inquinamento, ma aumenterebbero il valore estetico dei fiumi con correlati aspetti positivi per l'intera città, queste metodologie a basso costo dovrebbero avere la priorità rispetto a trattamenti meccanici o altre tipologie di trattamento più onerosi. Per il controllo dell'inquinamento a basso costo e trattamento delle acque reflue potrebbero essere applicati le seguenti tecniche:

- Impianti di fitodepurazione: Lo sfruttamento della vegetazione rivierasca può svolgere un ruolo chiave nella mitigazione dell'inquinamento. Possono essere adoperate diverse specie ma l'importante e preferire specie autoctone che riescano ad autosostentarsi. La specie di erba Arundo donax, che è il tipo di vegetazione dominante lungo la riva del fiume, è un eccellente pozzo (assorbente) di gran parte dei metalli in traccia lungo la riva del fiume (*Tilahun, 2007)*. Anche il Vetiver zizanioides potrebbe essere un'opzione, questa è una specie estremamente resistente con una serie di caratteristiche che la rendono ideale per l'uso in misure di protezione ambientale (*Cull et al., 2000*).
- Metodo di adsorbimento: tra le possibili tecniche adoperabili per il trattamento dell'acqua, il processo di adsorbimento mediante adsorbenti solidi (es. carboni attivi) è uno dei metodi più efficienti che garantisce alte prestazioni per il trattamento e la rimozione di contaminanti fisici, chimici e organici nel trattamento delle acque reflue. Il processo di adsorbimento è ampiamente utilizzato per il trattamento di acque reflue industriali. Negli ultimi anni si è intensificata la ricerca di adsorbenti a basso costo con buone capacità di accumulo di sostanze inquinanti. Il carbone attivo prodotto da, materiali naturali e rifiuti agricoli, disponibili localmente, può essere utilizzato come adsorbente per il trattamento dell'acqua e delle acque reflue. Ad esempio, il bio-adsorbimento attraverso la corteccia di eucalipto, lolla del caffè o segatura è adatto al trattamento delle acque reflue provenienti dalle industrie conciarie in Etiopia, che contengono alte concentrazioni di cromo *(Zeinu e Sahu, 2015)*.

Aree di miglioramento:

- Pianificazione dell'uso del suolo: un'efficace urbanizzazione e un corretto sviluppo urbano sono fondamentali per un buon servizio urbanistico. La terra è la più grande risorsa economica di Addis Abeba, ma l'utilizzo del territorio è caratterizzato da una scarsa attenzione e da uno sviluppo casuale.

In questo lavoro di tesi, al fine di migliorare la condizioni di inquinamento dei fiumi della città, si è scelto di studiare l'utilizzo degli impianti di fitodepurazione per il trattamento dei reflui provenienti dalle abitazioni prive di un adeguato servizio di fognatura. Gli impianti di fitodepurazione sono sistemi di trattamento per acque reflue domestiche, agricole e industriali basate su processi biologici, fisici e chimici. Il trattamento si basa sul principio dell'auto-purificazione tipico degli ambienti acquatici e delle zone umide. Questi sistemi sono caratterizzati dalla presenza di specie vegetali radicate su un substrato o galleggianti sull'acqua. Le zone naturali sono sempre state caratterizzate da una grande variabilità delle loro componenti funzionali, ed inoltre, è difficile quantificare con precisione la capacità di trattamento.

Gli impianti di fitodepurazioni artificiali offrono un maggiore livello di controllo, consentendo una valutazione precisa della loro efficacia in base alla natura del loro substrato, della tipologia di piante e dei percorsi idraulici. Oltre a ciò, questi impianti offrono altri vantaggi, come la flessibilità in termini di dimensioni e geometria, il controllo del flusso idraulico e il tempo di ritenzione oltre che minori impatti estetici rispetto ad altre tecnologie. Oggigiorno, l'uso della fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue è diventato un metodo molto comune nel mondo.

Questo sistema può essere utilizzato in due modi: come trattamento secondario, che rappresenta un vero processo di trattamento valle di un trattamento primario, o come trattamento terziario successivo al tradizionale impianto di depurazione nel caso in cui l'effluente non raggiunga i limiti stabiliti dalla legislazione.

5.1 Descrizione del processo

In questa tipologia di trattamento, si potrebbe pensare che le piante siano i principali attori nel processo di purificazione, in effetti, ciò che è fondamentale è la complessa interazione tra le acque reflue, il substrato, la vegetazione e una serie di microrganismi (soprattutto i batteri). La vegetazione svolge un ruolo vitale in quanto fornisce superfici e un ambiente adatto per la crescita e alla filtrazione microbica. I ruoli principali della vegetazione sono vari e di diverso tipo:

- supporto per la biomassa, che aderisce alle estremità radicali e ai rizomi;

- rimozione dei nutrienti tramite presa diretta dalla pianta;
- trasporto e rilascio di ossigeno, dagli apparati aerei alle radici, grazie alla struttura della pianta.

Inoltre, le piante producono ulteriori benefici come contribuire alla stabilizzazione della superficie del letto, riducendo la velocità, la frammentazione del flusso liquido che viene distribuito in modo più uniforme nel letto e riduce gli effetti dovuti alla filtrazione della luce solare. L'azione depurativa è quindi data dalla cooperazione della pianta e delle colonie batteriche, che varia in base alle condizioni operative e al tipo di sistema scelto. Le sostanze inquinanti possono essere rimosse da diversi e complessi processi fisici, chimici e biologici, di cui si riporta in Figura 5.1 un'illustrazione.

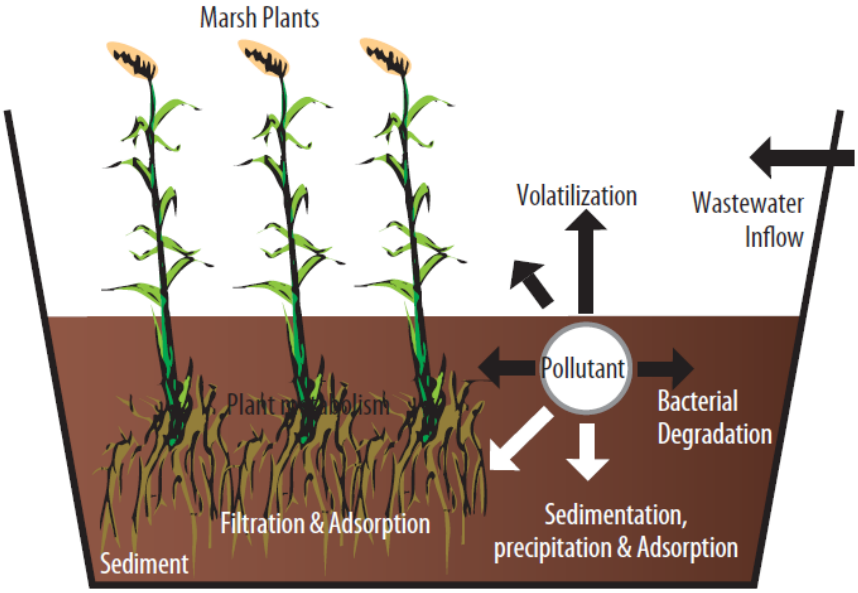


Figura 5.1- Meccanismi di rimozione degli inquinanti (modificato da Wetlands International, 2003)

I processi principali sono: la sedimentazione, dovuta all'azione combinata della rizofiltrazione ("captazione, da parte delle piante, degli inquinanti presenti in forma disciolta nelle acque sotterranee. Avviene nella zona radicale, tramite processi di adsorbimento, concentrazione o precipitazione dei contaminanti" www.enciclopediambiente.com), e alla lentezza del flusso; adsorbimento di alcune molecole nel substrato; assorbimento di nutrienti e metalli pesanti da parte delle piante; degradazione delle molecole organiche mediante il lavoro del metabolismo batterico.

5.2 Tipologie impiantistiche

Le tecniche di fitodepurazione esistenti possono essere classificate in base all'ecologia delle piante acquatiche utilizzate:

- Sistemi a idrofite galleggianti (pleustofite);

- Sistemi a idrofite radicate sommerse;
- Sistemi a macrofite radicate emergenti (elofite);
- Sistemi a microfite (alghe unicellulari).

I sistemi di fitodepurazione a macrofite radicate emergenti possono essere a loro volta suddivisi in base alla direzione di scorrimento dell'acqua in:

1. Sistemi a flusso superficiale (FWS – Free water surface);
2. Sistemi a flusso sommerso (SSF – Sub-Surface Flow).

5.2.1 FWS

I sistemi di flusso di superficie sono una riproduzione delle zone naturali. Sono costituiti da una laguna contenente suolo radicato, poco profondo e impermeabilizzato (ad es. con uno strato di argilla) dove le acque reflue pretrattate vengono alimentate continuamente. La purificazione è dovuta all'interazione tra attività microbiologica e vegetazione acquatica. La presenza di vegetazione rallenta la velocità del flusso. Con il flusso lento, aumenta il tempo di contatto tra l'acqua e le piante stesse. In questo modo viene favorito l'insediamento di solidi sospesi e l'esecuzione dei processi biologici di degradazione. Questo tipo di sistemi viene applicato per il trattamento di grandi volumi di rifiuti derivanti da bacini agricoli o da ampi insediamenti residenziali (Figura 5.2).

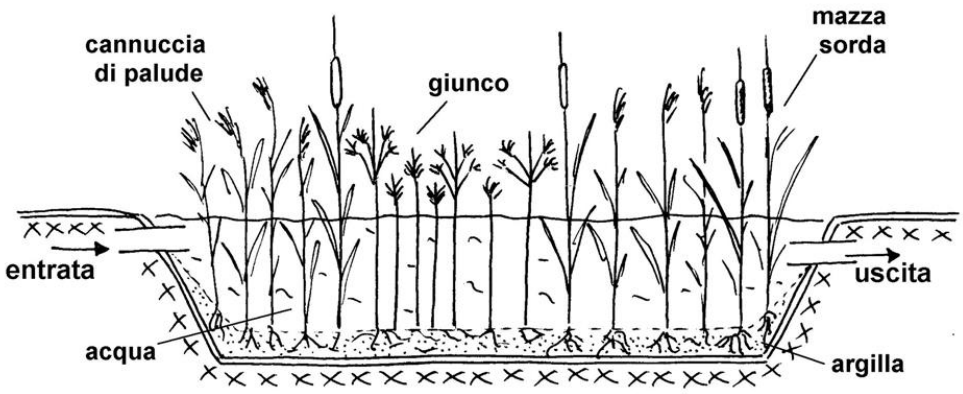


Figura 5.2 - Schema impianto a flusso superficiale

Maggiormente adatti all'utilizzo per trattamento terziario dei reflui. il film biologico si svilupperà quindi su tutte le superfici delle piante disponibili e questo sarà il meccanismo principale di rimozione degli inquinanti.

5.2.2 SSF

Nei sistemi con flusso sub-superficiale il fondo del bacino è impermeabilizzato da membrane sintetiche, come HDPE o PVC, o strati di argilla, bentonite o serbatoi di cemento. All'interno dei bacini è presente un mezzo di riempimento costituito da materiale inerte (ghiaia, sabbia o ghiaia) in cui si sviluppano le radici delle macrofite. La

permeabilità del terreno contribuisce a determinare il regime idrico necessario affinché il livello dell'acqua venga mantenuto sotto la superficie. I reflui passano attraverso il mezzo poroso di riempimento e questo ha diversi vantaggi; l'assenza di una superficie d'acqua libera impedisce vari fenomeni come la proliferazione degli insetti, lo sviluppo di odori sgradevoli, l'esposizione diretta a contaminanti e agenti patogeni, pericolosi sia per l'uomo che per gli animali. Inoltre, l'accesso diretto alla superficie asciutta del sistema rende più semplice l'operazione di gestione come la falciatura periodica della vegetazione. Questi sistemi subiscono meno le variazioni climatiche esterne rispetto ai sistemi FWS. I processi di purificazione avvengono principalmente nel substrato a livello del sistema radicale, la loro efficienza rimane relativamente costante durante i diversi periodi dell'anno; a causa dell'accumulo di biomassa morta sulla superficie dell'impianto viene creata una protezione termica che mantiene attivi i processi biologici anche durante i periodi di variazioni di temperatura. Infine, tali sistemi, grazie alla presenza del substrato inerte che aumenta la superficie utile per i processi di purificazione mediati da batteri, richiedono aree inferiori rispetto ai sistemi di flusso superficiale.

A loro volta i sistemi a flusso sommerso si distinguono in:

- orizzontale (HF): in questi sistemi l'acqua di scarico viene alimentata all'ingresso e scorre lentamente attraverso il substrato poroso sotto la superficie del letto in un percorso più o meno orizzontale fino a raggiungere la zona di uscita. L'acqua in uscita viene raccolta attraverso un tubo perforato situato nella parte inferiore e convogliato verso un pozzetto di uscita. Nel pozzetto sono presenti alcuni sistemi per la regolazione del livello dell'acqua del letto filtrante, costituito da tubi flessibili regolabili in altezza. Al fine di evitare percorsi preferenziali da parte dei liquami, la granulometria degli aggregati all'inizio e alla fine del letto filtrante è superiore a quella della porzione centrale. Durante questo passaggio le acque reflue entreranno in contatto con una rete di zone aerobiche, anossiche e anaerobiche. Le zone aerobiche saranno intorno alle radici e ai rizomi della vegetazione delle zone umide che scaricano ossigeno nel substrato. Durante il passaggio delle acque reflue attraverso la rizosfera, le acque reflue vengono pulite dalla degradazione microbiologica e dai processi fisici e chimici. Questa tipologia di impianto può rimuovere efficacemente gli inquinanti organici (TSS, BOD5 e COD) dalle acque reflue. A causa del limitato trasferimento di ossigeno all'interno della zona umida, la rimozione di sostanze nutritive (in particolare l'azoto) è limitata; tuttavia, i nitrati vengono rimossi dalle acque reflue. Questi tipi di sistemi possono essere utilizzati come trattamento secondario di acque reflue di origine civile e industriale e per la

depurazione di servizi pubblici con una forte fluttuazione stagionale. L'acqua si depura in una o più vasche della profondità di 60-80 cm in cui si sviluppano le radici delle macrofite (Figura 5.3).

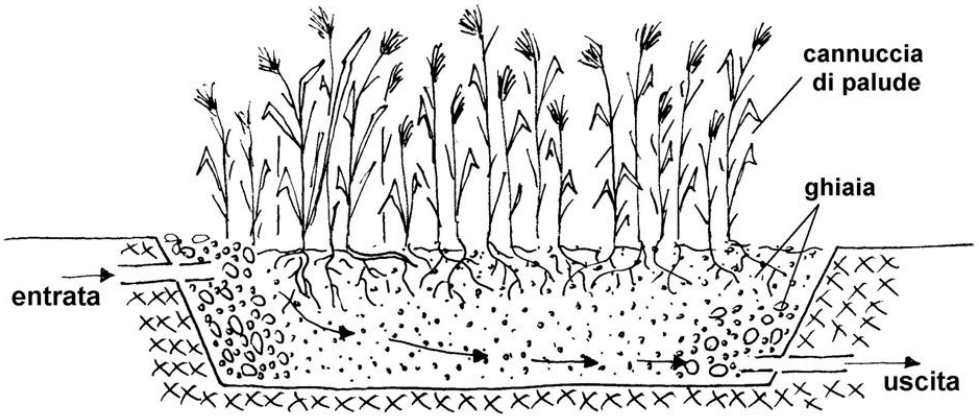


Figura 5.3 - Schema impianto a flusso sommerso orizzontale

- verticale (VF): in questi impianti l'acqua di scarico viene alimentata dall'alto e quindi percola gradualmente attraverso il letto e viene raccolta da una rete di drenaggio alla base e convogliata verso l'uscita. Le acque reflue vengono distribuite uniformemente dall'alto su tutta la superficie attraverso i tubi perforati o muniti di ugelli. Questa tipologia costruttiva viene alimentate in modo intermittente. Il liquido drena gradualmente attraverso il letto e viene raccolto da una rete di drenaggio alla base. Il letto scarica completamente la fase liquida e consente all'aria di riempire i pori del letto. La successiva irrorazione intrappola questa aria e questo porta ad un buon trasferimento dell'ossigeno e quindi alla capacità di nitrificare. Questa metodologia con flusso intermittente (reattori batch) prevede l'uso di un numero minimo di due serbatoi in parallelo per ogni linea. È possibile regolare i tempi di riossigenazione del letto variando la frequenza e la quantità di carico idraulico immesso, attraverso l'adozione di dispositivi con sifone autoadescante, di dimensioni adeguate o tramite elettropompe. Inoltre, i tempi di ritenzione nei sistemi di flusso idraulico verticale sono più brevi di quelli orizzontali. I vantaggi del flusso verticale sono la maggiore capacità di trasferimento dell'ossigeno con conseguente buona nitrificazione, considerevolmente più piccola del sistema HF e in grado di rimuovere in modo efficiente BOD5, COD e patogeni. Nonostante questi vantaggi, questi sono usati meno di quelli orizzontali a causa della maggiore complessità strutturale e gestionale (Figura 5.4).

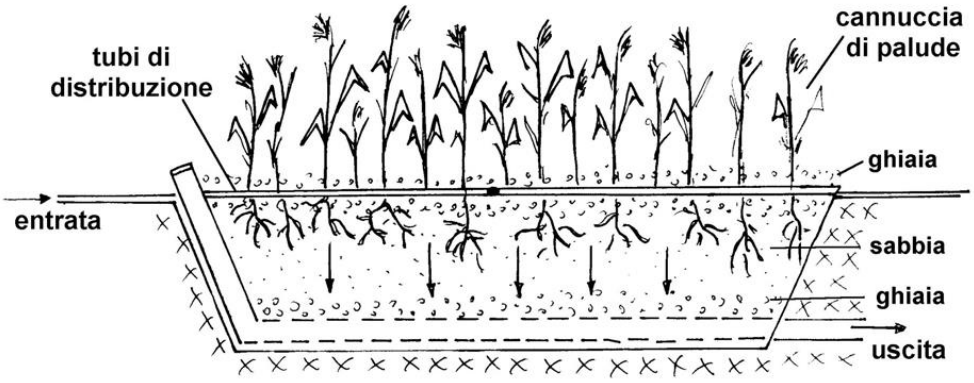


Figura 5.4 - Schema impianto a flusso sommerso verticale

- Ibridi: Negli ultimi anni è cresciuto l'interesse per gli impianti combinati (ibridi). In questi sistemi, i vantaggi e gli svantaggi di HF e VF possono essere combinati per completarsi a vicenda. Gli impianti in configurazione HF sono approvati per rimuovere BOD_5 e TSS per il trattamento delle acque reflue secondarie, ma non per la nitrificazione a causa della limitata capacità di trasferimento dell'ossigeno. Gli impianti in configurazione VF hanno invece una maggiore capacità di trasferimento dell'ossigeno e sono ideali per l'ossidazione biologica di materia organica e la nitrificazione. Ma queste ultime (VF) presentano anche alcune limitazioni, ad esempio meno efficienti nella rimozione dei solidi, e possono ostruirsi se i supporti non sono è perfettamente scelti. La combinazione può includere due o più bacini. I bacini sono disposti in serie e/o in parallelo, in alcuni casi è possibile ricorrere al ricircolo delle acque reflue per ottenere rese depurative più elevate (Figura 5.5).

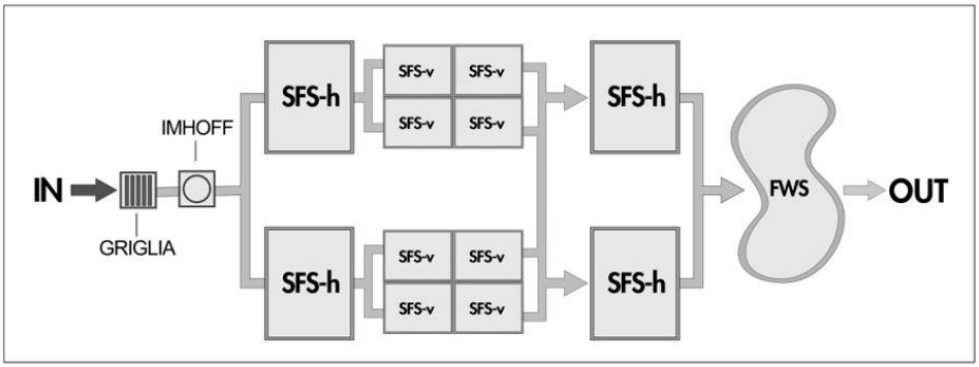


Figura 5.5 – esempio di impianto ibrido

5.2.3 Vantaggi e limiti SSF-HF

Gli impianti costruiti in configurazione HF offrono una varietà di vantaggi che li rendono adatti a comunità di piccole e medie dimensioni nei paesi in via di sviluppo come l'Etiopia. I vantaggi includono:

- Bassi costi operativi e di manutenzione dovuti al fatto che i processi di trattamento biologico naturale sono migliorati dalle alte temperature ambientali e delle acque reflue, richiedono un basso o nullo fabbisogno energetico e non necessitano di attrezzature sofisticate, pezzi di ricambio e prodotti chimici;
- I requisiti di manutenzione e operativi sono relativamente semplici, il che consente alle comunità di gestire il sistema in maniera autonoma dopo un'adeguata formazione delle capacità e con il supporto tecnico;
- Questi impianti sono caratterizzati dalla robustezza e affidabilità delle prestazioni e resistenza alle fluttuazioni del flusso;
- Le condizioni di flusso limitano il proliferare di insetti e possibili vettori;
- Alcune tipologie di piante utilizzate in questi impianti possono essere utilizzate come foraggio per gli allevamenti, previo studio dell'assorbimento delle sostanze presenti nel refluo;
- Se dimensionati adeguatamente i ridotti livelli di agenti patogeni nell'effluente e i nutrienti rimanenti rendono questo adatto all'utilizzo irriguo;
- Gli impianti hanno emissioni odorigene ridotte;
- Per la costruzione dell'impianto possono essere adoperati materiali e piante naturali e principalmente autoctoni;

I limiti di tale tecnologia, ed in particolare della metodologia a flusso orizzontale subsuperficiale, includono:

- Fabbisogno di superficie più elevato rispetto a quelli di tecnologie di trattamento convenzionali;
- È richiesta una quantità relativamente elevata di materiale filtrante e materiale impermeabile;
- La deposizione di solidi inerti e biomassa può causare l'intasamento di alcune parti del materiale filtrante;

5.2.4 Trattamento primario

Primo passo, antecedente alla progettazione di un impianto di fitodepurazioni SSF-HF, è quello di realizzare una fase di trattamento primario necessario alla rimozione dei solidi sospesi sedimentabili. Il trattamento primario separa la materia sospesa con operazioni fisiche in particolare la sedimentazione. Le acque reflue grezze contengono particolato sospeso più pesante dell'acqua, queste particelle tendono a depositarsi per gravità in condizioni di quiescenza. Il trattamento primario riduce i solidi sospesi (riduzione media del 35%), il carico organico (riduzione media del 30%) e uniforma la qualità delle acque

reflue e il flusso. Il trattamento preliminare prepara le acque reflue influenti per un ulteriore trattamento riducendo o rimuovendo le problematiche dei reflui che potrebbero interferire con il funzionamento ed aumentare la necessità di interventi di manutenzione dell'impianto, esempio intasamento del letto filtrante.
La fossa settica è il trattamento primario più comune, utilizzato per questi impianti su scala ridotta. Le fosse settiche devono essere pulite e svuotate con cadenza regolare per evitare la produzione di effluenti di bassa qualità con alto contenuto di solidi sospesi, da evitare per non rischiare di ridurre l'efficienza del sistema.

5.3 Pianificazione del sistema di trattamento

Data l'assenza di sistemi di collettamento e trattamento dei reflui domestici in determinate zone della città, tali reflui vengono sversati senza nessun controllo direttamente all'interno dei fiumi. Per ridurre l'apporto di contaminanti e reflui nei fiumi si è pensato di introdurre la tecnologia degli impianti di fitodepurazione all'interno di quei contesti nei quali prevale la suddetta situazione. La tipologia di sistema scelto è l'SSF-HF a idrofite emergenti. Questo tipo di sistema "Constructed Wetland" (CW) è ottimale al contesto considerando la facilità di realizzazione, di gestione e dato il suo semplice funzionamento non richiede l'implementazione di dispositivi elettrici od elettronici per le operazioni di funzionamento. Questi vantaggi implicano notevoli risparmi sui costi si funzionamento e manutenzione. Tale impianto è stato ideato per essere introdotto nei contesti in cui il sistema fognario della città di Addis Abeba non è presente, al fine di ridurre i reflui sversati direttamente e senza alcun trattamento nei fiumi della città. L'impianto richiede la creazione del sistema di collettamento che trasporti i reflui dalle abitazioni al sistema di trattamento e dato che il sistema può essere costruito vicino alle abitazioni, la costruzione di tali collettamenti risulta meno oneroso e più semplice rispetto al collegamento con il sistema fognario centralizzato della città.
Il sistema in progetto è stato ipotizzato per trattare gli effluenti domestici provenienti dalle abitazioni per 100 abitanti-equivalenti e sarà composto da un pretrattamento per la separazione del particolato sedimentabile (Vasca Imhoff) e dal successivo impianto di fitodepurazione. L'acqua trattata, in uscita dell'impianto, potrà essere riutilizzata per l'irrigazione o sversata direttamente nei fiumi dato il dei limiti di concentrazione forniti dall'OMS.

5.3.1 Acque reflue da trattare

Le acque reflue provenienti dalle abitazioni contengono rifiuti umani (feci e urina), l'acqua usata per sciacquare i servizi igienici, l'acqua proveniente dai sistemi per l'igiene

personale, dal bucato, dalla preparazione dei cibi e dalla pulizia degli utensili da cucina. Tali acque contengono solidi sospesi di grandi dimensioni, come le feci, e solidi sospesi più piccoli in sospensione colloidale (cioè non sedimentabili) oltre che inquinanti di varia natura.

La composizione media delle feci umane e delle urine è riportata in Tabella 5-1.

Tabella 5-1 – Composizione media feci e urina umana (Duncan Mara, 2004)

	Faeces	**Urine**
Quantities		
Quantity (wet) per person per day	135-270 g	1.0-1.3 kg
Quantity (dry solids) per person per day	35-70 g	50-70 g
Approximate composition (%)		
Moisture	66-80	93-96
Organic matter	88-97	65-85
Nitrogen	5.0-7.0	15-19
Phosphorus (as P_2O_5)	3.0–5.4	2.5–5.0
Potassium (as K_2O)	1.0–2.5	3.0–4.5
Carbon	44–55	11–17
Calcium (as CaO)	4.5	4.5–6.0

La frazione organica è principalmente composta da proteine, carboidrati e grassi, che sono nutrienti eccellenti per i batteri, fondamentali per il trattamento di natura biologica che avviene all'interno degli impianti di fitodepurazione. Gli escrementi contengono milioni di batteri intestinali, la maggior parte di questi sono innocui, ma una minoranza è in grado di causare gravi malattie per l'uomo.

I due parametri principali su cui si basa il dimensionamento di qualsiasi sistema di trattamento sono il carico idraulico e il carico organico. Il carico idraulico, cioè la portata volumetrica dell'acqua da trattare (m^3/d o l/s), determina il dimensionamento dell'intera parte idraulica del sistema: tubazioni, sistemi di filtrazione, vasche di sedimentazione. Il carico organico, cioè la portata massica delle sostanze organiche da trattare ($gBOD_5$/d), serve a determinare il dimensionamento del trattamento biologico dei liquami. Il rapporto tra il carico organico e il carico idraulico, determina la concentrazione di sostanze organiche (mg/l o g/m^3 di BOD_5) nelle acque reflue.

La concentrazione di materia organica delle acque reflue è regolata in gran parte dal consumo di acqua, nei paesi industriali dove il consumo di acqua è elevato (200-400 l/persona al giorno) le acque reflue presentano un contenuto di sostanza organica basso

(BOD_5 = 200-250 mg/l), mentre nei paesi in via di sviluppo dato che la dotazione idrica è spesso minore (20-100 l/persona al giorno), le acque reflue presentano un alto livello di sostanza organica (BOD_5 = 400-800 mg/l).

In Tabella 5-2 vengono riassunti i principali contaminanti e le relative concentrazioni medie presenti nei reflui, utilizzate per il dimensionamento dell'impianto.

Tabella 5-2 - Concentrazioni inquinanti (AAWSA)

Parametro	U.M.	Conc.	limiti WHO
pH	-	7.2	
Conducibilità elettrica	µs/cm	573	1000
Ossigeno disciolto	mg/L	4.6	6
COD	mg/L	914	100
BOD5	mg/L	434	15
Solidi sospesi totali	mg/L	421	10
Solidi volatili totali	mg/L	364	
Solidi non volatili totali	mg/L	57	
Azoto nitrato (NO3)	mg/L	14.7	50
Fosfati (PO4)	mg/L	16.2	250
Solfati (SO4)	mg/L	13.8	250
Cloruri (Cl)	mg/L	38.5	250

5.3.2 Bilancio idrico

Precipitazione ed evapotraspirazione sono fattori che influenzano l'idrologia dell'impianto e la rimozione dei composti organici, non solo variando il tempo di permanenza, ma anche agendo sulla concentrazione delle acque reflue da trattare. È fondamentale una caratterizzazione dettagliata delle condizioni meteorologiche, ma sfortunatamente i dati disponibili per questa caratterizzazione sono pochi e frammentati. Dopo una lunga ricerca è stata realizzata una tabella contenente le temperature medie mensili e le precipitazioni relativi all'arco temporale 1951 – 2017 (Tabella 5-3)

Tabella 5-3 - Temperature e precipitazioni medie mensili Addis Abeba (fonte: https://worldweather.wmo.int)

Dati mensili climatici per Addis Abeba 1951-2017												
	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
Temperatura °C	24	24	25	24	25	23	21	21	22	23	23	23
Precipitazione mm	13	30	58	82	84	138	280	290	149	27	7	7

L'evapotraspirazione è stata ottenuta utilizzando il metodo di Thornthwaite. Tale metodo prevede il calcolo di due fattori: l'indice medio termico annuo *I,* in funzione delle temperature medie mensili e un fattore di correzione L_i, in funzione della latitudine del sito e del mese considerato.

Thornthwaite $$ETP_i = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_i}{I}\right)^a \cdot L_i \qquad [mm/mese]$$

I = indice termico medio annuo $$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1,514}$$

$$a = 0.49239 + 1.792 \cdot 10^{-2} \cdot I - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3$$

L_i = fattore correttivo in funzione della latitudine e del mese *i* dell'anno:

Per individuare i valori riferiti alla latitudine della città (9° 1' 29 N), è stata eseguita un'interpolazione dei valori alle latitudini di 0° e 10° (Tabella 5-4).

Tabella 5-4 – Interpolazione per ottenimento di Li

fattore correttivo relativo a mese e latitudine Li												
LAT	**Gen**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
0°	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
10°	1	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
9°	1.004	0.913	1.031	1.028	1.076	1.055	1.076	1.067	1.019	1.022	0.983	0.995

Di seguito è riportata uno schema riassuntivo dei dati ottenuti (Tabella 5-5)

Tabella 5-5 – Calcoli riassuntivi per l'evapotraspirazione

	Gen	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
T/5	4.8	4.8	5	4.8	5	4.6	4.2	4.2	4.4	4.6	4.6	4.6
I	122.42											
a	2.77											
ETP (mm)	103.61	94.22	119.13	106.09	124.33	96.77	76.72	76.08	82.64	93.75	90.17	91.27

In Figura 5.6 è riportata la rappresentazione grafica della precipitazione ed evapotraspirazione media mensile per ogni mese. Si può vedere che il le precipitazioni contribuiscono all'aumento della portata da trattare nell'impianto tra giugno e settembre, per tale periodo verrà effettuata una verifica per valutare la funzionalità dell'impianto, viceversa il contributo dell'evapotraspirazione è più rilevante positivo nei restanti mesi.

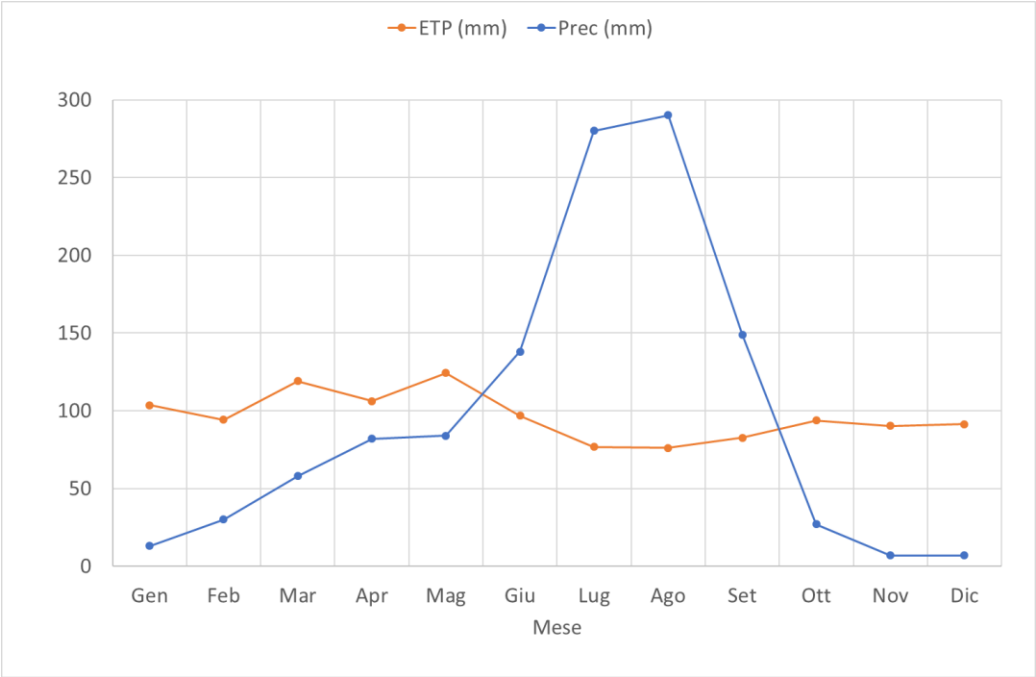


Figura 5.6 - contributo precipitazioni ed evapotraspirazione

5.3.3 Dimensionamento dell'impianto

Gli elementi che devono essere considerati per progettare e costruire l'impianto sono:

- Trattamento primario;
- Dimensionamento della fitodepurazione;
- Rivestimento del bacino;
- Selezione del materiale di riempimento;
- Strutture di ingresso e uscita;
- Vegetazione.

Come già spiegato il trattamento primario ha lo scopo di ridurre i solidi sospesi, il carico organico e livellare il flusso di portate in ingresso alla vasca di trattamento. Il dimensionamento del comparto di sedimentazione viene eseguito con gli stessi criteri applicati nei sedimentatori, fissando un tempo di detenzione pari a 2.5 ore. Il comparto di digestione viene dimensionato fissando un volume specifico per abitante servito, gli standard minimi richiesti sono di 40 ÷ 50 l/ab. All'interno di queste unità avviene anche una parziale digestione anaerobica del fango sedimentato, in questi casi l'odore può essere evitato tramite l'utilizzo di un semplice bio-filtro (es: una scatola riempita con corteccia umida).

Per la determinazione dell'area della sezione trasversale del letto, viene utilizzato il seguente modello per la rimozione di sostanza organica con l'ipotesi di un reattore con flusso a pistone e reazione biologica di 1° ordine:

$$\boldsymbol{BOD_{5out} = BOD_{5in} * e^{(-k_{20}*\theta^{(T-20)}*t)}}$$

dove:

- BOD_{5out}: concentrazione di BOD effluente [mg_{BOD}/l];
- BOD_{5in}: concentrazione di BOD influente [mg_{BOD}/l];
- k_{20}: costante cinetica del primo ordine a T=20°C [giorni^{-1}];
- Θ: fattore di correzione di k_{20} rispetto a T, 1,06 [-];
- T: temperatura di esercizio [°C];
- t: tempo di ritenzione idraulica effettivo [giorni]:

$$\boldsymbol{t = \frac{V_v}{q} = \frac{n * d * A_s}{q}}$$

dove:

- V_v: volume dei vuoti (volume bagnato) [m^3];
- n: porosità del terreno [-];
- d: spessore del letto (variabile con l'essenza posta a dimora; 0,2 - 0,8) [m];
- A_s: area superficiale del letto [m^2];
- q: portata media giornaliera trattata dal sistema [m^3/giorno].

In generale, la profondità del substrato negli impianti SSF-HF dipende dalla profondità radicale delle piante questo per far sì che le piante siano a contatto con il flusso che scorre. È possibile utilizzare uno spessore medio di 0,4 m prendendo in considerazione la precipitazione, che potrebbe causare un flusso superficiale.

Combinando le due espressioni, si ottiene l'espressione che consente di calcolare la superficie del letto:

$$\boldsymbol{A_S = Q * \frac{(lnBOD_{5in} - lnBOD_{5out})}{k_{20} * \theta^{(T-20)} * n * d}}$$

Per evitare il rischio di intasamenti e scorrimenti superficiali del liquame è necessario avere un'area trasversale che garantisca sempre il flusso sub-superficiale. Considerando la legge di Darcy relativa alla filtrazione in un mezzo saturo, si ha:

$$\boldsymbol{A_C = \frac{q}{k_f * J}}$$

dove:

- A_c = area trasversale del letto [m^2];
- k_f = permeabilità del terreno [m^3/m^2 x giorno];
- J = gradiente idraulico o pendenza del letto [m/m].

Pe la scelta delle costanti sopra introdotte è stata utilizzata la Tabella 5-6.

Tabella 5-6 – Costanti di dimensionamento

Terreno	Porosità n [-]	Permeabilità K_f [m^3 m^{-2} d^{-1}]	Costante K_{20} [d^{-1}]
Sabbia media	0.4	400	1.8
Sabbia grossolana	0.35	600	1.4
Ghiaietto	0.3	800	0.9

La costante k_{20} dipende dalla granulometria del terreno e quindi dalla superficie specifica del mezzo di supporto: al crescere della granulometria diminuisce la quantità di biomassa adesa presente per unità di volume e quindi decresce anche k_{20}. Inoltre, la diminuzione di k_{20} e n con la granulometria può renderla preferibile, ma deve essere considerato il più probabile rischio di intasamento. Il parametro k_f dipende dalla granulometria, cresce con essa e tiene conto della presenza di rizomi e radici delle idrofite. Nei sistemi con flusso orizzontale è consigliabile utilizzare il materiale più grossolano in entrata e in uscita per evitare l'intasamento.

Nel caso specifico il materiale di riempimento scelto è stato la sabbia grossolana, materiale che è disponibile in loco, quindi i relativi paramenti sono n=0,35, k_f = 600 e k_{20}= 1,4.

Una volta determinata la superficie A_s si calcola la lunghezza del letto, che si determina tramite la seguente espressione:

$$\boldsymbol{L = \frac{A_S * d}{A_C}}$$

Bisogna controllare che LxJ< 0,30 m, per essere certi che la profondità esplorata dalle radici sia sufficiente a garantire il contatto del liquame con le popolazioni epifitiche dell'apparato radicale, anche in condizioni di basse portate alimentate.

Calcolo della larghezza teorica del letto:

$$\boldsymbol{W = \frac{A_C}{d}}$$

La larghezza effettiva (W') va aumentata assumendo un fattore di sicurezza pari al 10% per tenere conto di allacciamenti futuri o non previsti:

$$\boldsymbol{W' = W + (W * 0.10)}$$

Inoltre, deve essere garantito che $\boldsymbol{0,5 < \frac{L}{W} < 4}$ se questa condizione non è soddisfatta, la lunghezza del bacino deve essere cambiata. Un'altra condizione da rispettare è il calcolo della ri-ossigenazione necessaria:

$$\boldsymbol{Z_{BOD} = \frac{B_b * 10^3}{A_S}} < 30\ [g\ O_2/\mathrm{m}^3 * \text{giorno}]$$

dove:

- B_b: carico di BOD in ingresso al letto [Kg_{BOD}/giorno]

A questo punto è possibile procedere al calcolo della superficie finale del letto:

$$\boldsymbol{S = W * L}$$

L'impianto è stato dimensionato per rispettare il limite di concentrazione di BOD_{5out} imposto a 15 mg/L, tale limite è stato posto più restrittivo rispetto al limite di 50 mg/L per lo scarico in corpi idrici superficiali al fine di spingere il più possibile il trattamento e cercare di ridurre il carico di inquinanti che giunge al fiume, dato che quest'ultimo è già altamente contaminato e per poter essere nuovamente utilizzata senza rischi. Al fine di soddisfare tutti i parametri di verifica, è stato effettuato un processo iterativo di calcolo. In Tabella 5-7 viene riportato il riassunto dei calcoli svolti e dei parametri di dimensionamento scelti per il dimensionamento dell'impianto.

Tabella 5-7 – Parametri per il dimensionamento

Abitanti	A.E.	100	ab. Equiv
Dotazione idrica	D	30	l/ab*g
Concentrazione di BOD in ingresso nel letto	BOD_{5in}	303.80	mg/l
Concentrazione di BOD in uscita	BOD_{5out}	15	mg/l
Costante cinetica	K_{20}	1.4	d^{-1}
Fattore di correzione di K_{20}	θ	1.06	-
Temperatura di esercizio	T	23.00	°C
Materiale utilizzato	sabbia grossolana		
Porosità	n	0.35	-
Spessore del letto	d	0.4	m
Permeabilità del terreno	K_f	600	m/g
Portata media giornaliera (in tempo secco)	Q	3.0	m^3/g
Carico di BOD in ingresso al letto	B_b	0.91	Kg_{BOD}/d
Pendenza letto	J	0.005	-
Fattore di sicurezza per la larghezza		0.1	-

In Tabella 5-8 sono riportati i calcoli ottenuti dalla prima iterazione del dimensionamento, è possibile vedere come il parametro di verifica L/W non viene rispettato.

Tabella 5-8 – Prima iterazione di dimensionamento

Parametri da calcolare			
Superficie totale del letto	A_s	38.66	m^2
Superficie trasversale del letto	A_c	1.00	m^2
Lunghezza del letto	L	15.46	m
Larghezza teorica del letto	W	2.50	m
Larghezza effettiva del letto	W'	2.75	m
Superficie definitiva del letto	S	**42.5**	m^2

Parametri di verifica			
Riossigenazione necessaria	Z_{BOD}	23.6	g_{O2}/m^2 g
Rapporto Lunghezza/larghezza	L/W	5.62	-
Prodotto Lunghezza*pendenza letto	L*j	0.08	m
Dimensioni reali			
Larghezza effettiva del letto	W'	2.8	m
Lunghezza del letto	L'	15.5	m
Superficie totale del letto	As'	**43.40**	m^2
Spessore del letto	d	0.4	m
Superficie trasversale del letto	Ac	1.1	m^2
Parametri di verifica			
Riossigenazione necessaria	ZBOD	21.0	gO2/m^2 g
Rapporto Lunghezza/larghezza	L/W	5.5	-
Prodotto Lunghezza*pendenza letto	L*j	0.08	m

Al fine di rispettare tutti i parametri di verifica richiesti, è stato scelto di impostare come parametro di dimensionamento il rapporto L/W ottenendo le dimensioni riportate in Tabella 5-9, che permettono di rispettare tutti i parametri di verifica.

Tabella 5-9 – Dimensioni finali

impongo L/W=4			
Parametri da calcolare			
Superficie totale del letto	As	38.66	m2
Rapporto Lunghezza/larghezza (imposto)		4	-
Larghezza teorica del letto	W	3.11	m
Larghezza effettiva del letto	W'	3.40	m
Lunghezza effettiva del letto	L'	13.60	m
Superficie definitiva del letto	As'	46.24	m2
Spessore del letto	d	0.4	m
Superficie trasversale del letto	Ac	1.4	m^2
Parametri di verifica			
Riossigenazione necessaria	ZBOD	19.7	gO2/m^2 g
Rapporto Lunghezza/larghezza	L/W	4.0	-
Prodotto Lunghezza*pendenza letto	L*j	0.07	m

Nell'Allegato 1 vengono riportati i disegni dell'impianto.

Nell'Allegato 2 è riportata la localizzazione scelta per la costruzione dell'impianto.

La costruzione del bacino di fitodepurazione richiede lavori di scavo, livellamento e compattazione. La compattazione uniforme della base è importante per proteggere l'integrità del rivestimento dalle successive attività di costruzione e dal peso del riempimento dell'impianto. La base dovrà avere una pendenza del 10% per permettere il

movimento del flusso, inoltre bisognerà prevedere un franco di sicurezza (40 cm) per contenere le eventuali precipitazioni temporalesche. Va sottolineato che in periodi di siccità, potrebbe essere necessario irrigare le piante per compensare l'elevata evapotraspirazione.

Questo svolge un ruolo fondamentale nell'efficienza depurativa del sistema perché, oltre a fornire supporto alla vegetazione, svolge la funzione di filtro meccanico e chimico per alcune sostanze presenti nelle acque reflue. Il mezzo di riempimento dovrà essere costituito da un materiale omogeneo, durevole, non gessoso o friabile, inoltre si cercherà di sfruttare materiali disponibili in sito. Il mezzo di riempimento scelto è la sabbia grossolana, questa scelta è stata guidata dal fatto che è un materiale facile da reperire nelle sponde del fiume. Inoltre, le zone di ingresso e di uscita sono composte da materiale con granulometria più elevata, ghiaia con diametro compreso tra 40 e 80 mm, al fine di ridurre al minimo l'intasamento.

Ovviamente l'impianto avrà una struttura impermeabile alla base che impedirà al flusso di introdursi all'interno della falda sottostante e forzerà la direzione orizzontale del flusso. A tale scopo possono essere utilizzate geomembrane o bentonite sintetica (PEAD, PVC, PP). La scelta dovrebbe essere fatta in base alla disponibilità e al rapporto costo-efficacia.

Le sezioni di ingresso e di uscita sono necessarie al fine di distribuire nel modo più omogeneo possibile il refluo da trattare lungo tutta la larghezza della vasca. Nella sezione di ingresso si trovano tubi o canali di distribuzione (interrati), che vengono installati sull'intera larghezza della sezione di ingresso. Oltre alle strutture di ingresso e di uscita, la collocazione di ghiaia grossolana nelle aree di ingresso e di uscita ha lo scopo di migliorare la distribuzione del flusso e la raccolta degli effluenti. La struttura di scarico per il recupero delle acque trattate consiste in una tubazione di drenaggio posta sul fondo dell'area di scarico e collegato ad una vasca di raccolta degli effluenti. All'interno della camera di raccolta, l'installazione di un tubo flessibile consente di regolare il livello idrico all'interno del letto filtrante.

La selezione delle specie vegetali deve essere effettuata tenendo conto di una varietà di aspetti, come le condizioni climatiche del sito, le caratteristiche delle acque reflue da trattare, la qualità richiesta dell'effluente. La vegetazione può essere introdotta nel sistema trapiantando radici, rizomi, tuberi, piantine o piante mature oppure piantando semi ottenuti commercialmente o da altri siti, importando il substrato dalle zone circostanti o da impianti già esistenti. Importante è far sì che prima che l'impianto venga attivato, la vegetazione sia stabile in modo tale da superare lo stress dovuto al travaso o alla piantagione. Ovviamente

data la natura dell'impianto si devono utilizzare specie di piante emergenti disponibili localmente in grado di tollerare condizioni di ristagno idrico.

La scelta delle specie di piante da introdurre nell'impianto è ricaduta sulle specie autoctone:

- Vetiver zizanioides (Figura 5.7): "è una pianta erbacea perenne, cespitosa e sterile, non infestante. Non produce stoloni o rizomi, l'apparato radicale fitto e fibroso, sottile (0,1-2 mm) ed omogeneo lungo tutto lo sviluppo è in grado di consolidare saldamente il terreno sottostante evitando frane o smottamenti. Si adatta a condizioni climatiche estreme. Resiste in terreni inquinati da idrocarburi e metalli pesanti, svolgendo un'azione di depurazione; resiste a temperature da -5°C a + 55°C ed estremamente resistente sia alla siccità sia alla completa immersione per lunghi periodi in acqua. L'apparato fogliare limita il fenomeno erosivo superficiale, grazie sia alla fittissima siepe che si viene a creare, è resistente agli e non è soggetto ad attacchi di funghi o insetti" (www.vetiver.it). Inoltre, trova svariati utilizzi localmente per la produzione di manufatti come corde, ceste, coperture per abitazioni ecc

Figura 5.7 - Vetiver zizanioides

- Phoenix canariensis (Figura 5.8) comunemente chiamata palma, è ampiamente utilizzata come pianta ornamentale. È comune in molte parti dell'Etiopia come pianta ornamentale in città come Addis Abeba, Bahir-Dar e Jimma e in zone umide naturali che si trovano in diverse parti del paese (Sebsebe et al., 1997; EIBC, 2007). Oltre a questi, questa pianta viene utilizzata dalla comunità locale per realizzare una varietà di oggetti decorativi, come cestini in diverse parti dell'Etiopia (Afework, 2006). Queste palme attirano molti uccelli, in particolare piccioni dal petto rosa, che vi nidificano. (Sebsebe et al., 1997)

Figura 5.8 - Phoenix canariensis

Entrambe le tipologie di vegetazione sono state scelte a partire da documentazione e pubblicazioni aggiornate e consone alla situazione locale. Un ulteriore fattore che ha caratterizzato questa scelta è stato che entrambe sono abitualmente utilizzate dalla popolazione per la creazione di manufatti, ne consegue che i residui ottenuti la potatura di manutenzione potranno avere anche un ruolo economico.

Si evidenzia che l'utilizzo della Phoenix canariensis richiederebbe ulteriori studi dato che è una pianta che si sviluppa in altezza.

Per raggiungere il rendimento massimale dell'impianto saranno necessari due anni, durante i quali, la vegetazione verrà alimentata col refluo. Questo per far sì che la vegetazione si sviluppi e raggiunga una fase matura. Alimentare, fin dall'inizio, l'impianto col refluo da trattare permetterà alla vegetazione di non subire eventuali stress e permetterà al complessivo letto l'accrescimento del sistema microbiologico, fondamentale per il funzionamento dell'impianto.

5.4 Fasi operative e manutenzione

Gli impianti di fitodepurazione hanno una gestione molto semplice che non richiede un impegno continuo, né una manodopera specializzata, sebbene richieda determinate attenzioni dato che si tratta di ecosistemi dinamici in cui sono coinvolte molte variabili. La corretta gestione e manutenzione è essenziale per garantire il raggiungimento dei seguenti obiettivi: mantenimento dell'efficienza di depurazione stabilita in fase di progettazione, riduzione dei malfunzionamenti e dei guasti con conseguenti risparmi economici questo al fine di massimizzare la vita del sistema. Di solito le condizioni di malfunzionamento di un

sistema ben progettato si verificano in corrispondenza dei picchi di idraulici e/o inquinanti, malfunzionamenti dei pretrattamenti, ostruzioni e intasamenti delle tubazioni o del mezzo di riempimento. Funzionamento e manutenzione possono essere classificati in base al periodo di vita dell'impianto: avviamento e funzionamento a lungo termine. Inoltre, è consigliato effettuare controlli periodici almeno due volte l'anno per il buon funzionamento dell'impianto.

I requisiti di funzionamento e manutenzione possono essere riassunti come elencato in Tabella 5-10.

Tabella 5-10 – consigli di gestione

Azione di manutenzione ed operative quindicinali	
Struttura	Ispezione visiva per erbacce, erosione e danni
Substrato	Ispezione visiva per un afflusso adeguato e uniforme e l'identificazione di blocchi e danni
	Mantenere e regolare come richiesto
Inflow/ Outflow	Ispezione visiva per ostruzioni e danni e controllo visivo del livello dell'acqua e della qualità e quantità in uscita
Vegetazione	Ispezione visiva per eventuali problemi di infestanti, fitosanitari o parassiti.
Azione di manutenzione ed operative bimestrali	
Struttura	Ispezione visiva per erbacce, erosione e danni.
Inflow/ Outflow	Controllare il funzionamento del sistema di scarico e le caratteristiche dell'acqua effluente
	Attività di potatura, falciatura o pascolo erba nelle zone esterno all'impianto
Vegetazione	Controllare eventuali infestanti nell'impianto, applicazione di erbicidi e/o aumento temporaneo del livello dell'acqua
Trattamento primario	Ispezione visiva del trattamento primario a monte per l'integrità strutturale, la quantità e la qualità degli effluenti
Azione di manutenzione ed operative annuali	
Substrato	Controllare l'intasamento del supporto, se necessario rimuovere il supporto, pulirlo e sostituirlo.
Inflow/ Outflow	Pulire e rimuovere le piante attorno al tubo di scarico per consentire l'accesso e la protezione contro i blocchi.
Vegetazione	Raccogliere, potare la vegetazione e il reimpianto se necessaria rimozione infestanti
Trattamento primario	Controllare i livelli di fango nel trattamento primario e rimuoverlo se necessario per mantenere le prestazioni del trattamento ed evitare la fuoriuscita dei fanghi.

Infine, ogni impianto deve essere dotato di un "registro di manutenzione" dove riportare tutte le attività svolte, i motivi per cui sono stati eseguiti e i risultati ottenuti. Tale archivio consente di ottenere un alto grado di conoscenza sul funzionamento del sistema e sulla risposta del sistema ai cambiamenti nelle operazioni, nonché di stabilire i costi di gestione.

6. Conclusioni

Il sistema di trattamento proposto, è stato scelto sulla base della possibilità di implementare un processo semplice ed economico. La proposta non è fine a sé stessa ma piuttosto la speranza dell'inizio di un più ampio progetto di sviluppo ambientale, allo scopo di indurre la popolazione ad una maggiore attenzione della gestione della propria risorsa idrica. La carenza di tale risorsa è spesso data da una cattiva gestione e utilizzazione.

Al fine di dare un chiaro quadro si è quindi preferito affrontare un percorso descrittivo della risorsa idrica dalla macro-scala mondiale fino alla micro-scala della città di Addis Abeba, attraversando l'area del bacino del Nilo e dell'Etiopia. Una delle maggiori difficoltà riscontrate durante questo lavoro è stata la difficoltà di reperire dati aggiornati sulla risorsa idrica. Per lo studio sono stati adoperati i dati, provenienti da pubblicazioni, più idonei e rilevanti allo studio affrontato.

È stato evidenziato come l'Etiopia ha un enorme potenziale di risorse idriche che può essere utilizzato per lo sviluppo. La situazione politica appare, immatura per una possibile applicazione del concetto di sviluppo sostenibile, ma l'interesse sull'argomento sta aumentando, se si osserva la situazione in particolare, si possono cogliere delle fortissime motivazioni di fondo che indicano la voglia di applicare tale tipo di sviluppo. In questo lavoro si è quindi cercato di ottenere un quadro il più possibile aderente alla realtà. Dall'analisi dei dati ricavati è evidente la necessità della rielaborazione e creazione di banche dati riguardanti le risorse etiopi e la necessità di renderle disponibili per ricercatori di qualsiasi nazionalità. Per ottenere un reale sviluppo locale sostenibile è necessaria una pianificazione "dal basso verso l'alto" anziché "dall'alto verso il basso", questo si ottiene solo con il coinvolgimento, ovvero con la partecipazione e la concertazione, a livello locale della popolazione.

È stato visto parte dei fiumi della città di Addis Abeba sono altamente inquinati, questo è dovuto all'aumento della popolazione, alla cattiva gestione dei reflui e dei rifiuti, all'urbanizzazione incontrollata e all'inadeguatezza delle infrastrutture e del sistema igienico-sanitario. La causa principale di questo inquinamento è lo sversamento incontrollato di reflui e rifiuti domestici, industriali e ospedalieri derivanti da fonti puntuali e diffuse. Il degrado della qualità dell'acqua ha un grave impatto sull'ambiente, sul settore sociale ed economico, l'acqua inquinata dei fiumi è utilizzata per irrigare le colture e abbeverare gli allevamenti, questo implica che le sostanze pericolose contenute nei fiumi entrano nella catena alimentare e colpiscono la popolazione locale. Pertanto, il controllo

dell'inquinamento e il trattamento delle acque reflue a basso costo, utilizzando materiali disponibili localmente, sono di massima importanza in questo contesto.

In base alle condizioni sopra riassunte è stata quindi studiata l'implementazione del sistema di fitodepurazione da introdurre nelle aree prive di un sistema fognario. Questa tecnologia permette bassi dispendi economici e facile gestione. Va evidenziato infine che il dimensionamento dell'impianto di fitodepurazione è stato eseguito assumendo una rimozione cinetica di primo ordine e facendo affidamento su modelli europei e statunitensi. Questi modelli matematici sono interamente sperimentali e quindi spesso i coefficienti utilizzati non sono calibrati per adattarsi alle condizioni climatiche tipiche dell'Etiopia. Occorre pertanto sottolineare che il dimensionamento finale del sistema di trattamento deve essere ricontrollato con dati cinetici specifici, ottenibili solo dopo studi locali.

Inoltre, sulla base della valutazione di diversi articoli scientifici e relazioni, vengono inoltrate le seguenti raccomandazioni:

- L'amministrazione cittadina dovrebbe concentrarsi sulla gestione dei fiumi inquinati, adottando misure adeguate;
- Rafforzare il sistema di gestione dei rifiuti decentralizzato per aree già urbanizzate, con il miglioramento degli impianti di trattamento dei rifiuti;
- Attuazione rigorosa delle leggi e dei limiti da esse imposti per ridurre la contaminazione dei fiumi.

Bibliografia

- https://it.wikipedia.org/wiki/Obiettivi_di_sviluppo_sostenibile
- https://www.hydroaid-it.org
- https://www.who.int/
- Rapporto mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche (2018)
- WHO 2008 - Safer water, better health. Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health
- WHO 2017 - Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene
- Hutton G, Haller L (2004) Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level. Geneva, World Health Organization
- WHO e UNICEF - Rapid assessment of drinking water quality in the federal democratic republic of Ethiopia
- International Water Management Institute - Water Resources and Irrigation Development in Ethiopia
- Belete, Berhanu, Kidanewold, Yilma, Seleshi, Assefa M Melesse (2014) Surface Water and Groundwater Resources of Ethiopia: Potentials and Challenges of Water Resources Development
- Drinking Water Quality in Ethiopia - Results from the 2016 Ethiopia Socioeconomic Survey - Central Statistical Agency of Ethiopia in Collaboration with the Ministry of Water, Irrigation and Electricity (MOWIE), LSMS, World Bank, UNICEF, WHO, and JMP - December 2017
- Growth and Transformation Plan II (GTP II) (2015/16-2019/20) - Federal Democratic Republic of Ethiopia - Maggio, 2016 Addis Abeba
- Valera P. Sviluppo sostenibile e risorse naturali in Etiopia
- Nazioni Unite (2015) Rapporto sullo sviluppo delle risorse idriche mondiali: l'acqua per un mondo sostenibile: fatti e cifre
- IPCC (2018) Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR15)
- NBI (Nile Basin Initiative) (2012) Climate Change and its Implications for the Nile Region, STATE OF THE RIVER NILE BASIN
- NBI (Nile Basin Initiative) NBI STRATEGY 2017 – 2027, Abridged Version
- Assefa M. Melesse - Wossenu Abtew - Shimelis G. Setegn Nile River Basin, Ecohydrological Challenges, Climate Change and Hydropolitics

- Leofrigio M. La geopolitica dell'acqua e il caso della gestione del bacino idrografico del Nilo
- Yohannes H, Elias E (2017) Contamination of Rivers and Water Reservoirs in and Around Addis Ababa City and Actions to Combat It. Environ Pollut Climate Change 1: 116
- Van Rooijen D, Taddesse G (2009) Urban sanitation and wastewater treatment in Addis Ababa in the Awash Basin, Ethiopia. 34th WEDC international conference, Addis Ababa, Ethiopia
- Alemayehu T, Legesse D, Ayenew T, Tadesse Y, Waltenigus S, et al. (2005a) Assessment of pollution status and ground water vulnerability mapping of the Addis Ababa water supply aquifers, Ethiopia. Final Report. UNEP/UNESCO/UN-HABITAT/ECA. Addis Ababa, Ethiopia
- Alebel B, Weldesilassie Boelee E, Drechsel P, Dabbert S (2011) Wastewater use in crop production in peri-urban areas of Addis Ababa: Impacts on health in farm households. Environ Dev Econ 16: 25-49
- Eyob TS (2004) Assessment of Challenges, problems and intervention made to develop urban forest: The case of Addis Ababa, Addis Ababa Environment protection Authority
- Leta S1, Assefa F, Gumaelius L, Dalhammar G (2004) Biological nitrogen and organic matter removal from tannery wastewater in pilot plant operations in Ethiopia. Appl Microbiol Biotechnol 66: 333-339
- Mersha Z (2012) Determination of the pollution level of Great and Little Akaki rivers and trend of pollution. Addis Ababa city Environmental Protection Authority
- Aschale M, Sileshi Y, Kelly-Quinn M, Hailu D (2015) Potentially toxic trace element contamination of the Little Akaki river of Addis Ababa, Ethiopia. Journal of Natural Sciences Research 5
- Prabu PC (2009) Impact of heavy metal contamination of Akaki river of Ethiopia on soil and metal toxicity on cultivated vegetable crops. Ambo, Ethiopia
- Alemayehu T (2001) The impact of uncontrolled waste disposal on surface water quality in Addis Ababa, Ethiopia, SINET: Ethiop J Sci 24: 0379-2897
- Itanna F (2002) Metals in leafy vegetables grown in Addis Ababa and toxicological implications. Ethiop J Health Dev 16: 295-302

- Tilahun D (2007) The Role of Arundodonaxin riparian vegetation in mitigating river pollution in Addis Ababa: The case of Bulbula river. M.Sc. thesis. Addis Ababa University
- Solomon F (2007) Spatial and temporal water quality trend analysis using sediment cores and water samples from Aba Samuel Lake, south west of Addis Ababa, central Ethiopia. M.Sc. thesis. Addis Ababa University
- AAWSA (Addis Ababa Water and Sewerage Authority) (2008) Water production and distribution in Addis Ababa. Addis Ababa Water Supply and Sewerage Authority, Addis Ababa
- AAWSA (2002) Wastewater Masterplan, Volume 1, Executive Summary - Design Study Services Addis Ababa Sanitation Improvement Project
- Viviani G. (2012) Corso di Ingegneria Sanitaria-Ambientale – I parte – Trattamenti delle acque reflue, UNIPA
- Torregrossa M. – Corso di Impianti di trattamento Sanitario-Ambientale – Trattamenti a membrana, UNIPA
- Addisu G (2009) Metal concentration in vegetables grown in contaminated soils irrigated with polluted water and is available at local market, Addis Ababa, Ethiopia
- Gebre G, Van Rooijen D (2009) Urban water pollution and irrigated vegetable farming in Addis Ababa. Water, sanitation and hygiene: Sustainable development and multisectoral approaches. Referred Paper 166.34th WEDC International Conference, Addis Ababa, Ethiopia

- Tilahun D (2007) The Role of Arundodonaxin riparian vegetation in mitigating river pollution in Addis Ababa: The case of Bulbula river. M.Sc. thesis. Addis Ababa University

- Kalyushnyi V, Fedorovich VV, Lens P (2006) Dispersed plug flow model for up flow anaerobic sludge bed reactors with focus on granular sludge dynamics. J Ind Microbiol Biotechnol 33: 221-237
- Cull R, Hunter H, Hunter M, Truong P (2000) Application of Vetiver grass technology in off-site pollution control. Tolerance to herbicides under selected wetland conditions. Second International Vetiver Conference – Thailand
- Dunfa KD, Krishna TV (2011) Environmental Impact Assessment: A study on liquid waste management in Addis Ababa, Ethiopia. Abhinav National Monthly Refereed Journal of Research in Science and Technology 2

- Zeinu KM, Sahu O (2015) Adsorption of chromium from tannery wastewater by surface response method. Environ Qual Manage 24: 43–56
- Konjit Aynalem Kidanie (2015) Access to Water Supply in Urban Poor Households: The Case of Slums in Addis Ababa, Ethiopia
- Ferrari S., Spaggiari R., Garuti G., Romagnolli F. (2002) Manuale fitodepurazione
- Birhanu Genet Fenta (2007) Constructed Wetland System for Domestic Wastewater Treatment: A Case Study in Addis Ababa, Ethiopia
- D'Accorso A. (2014) Constructed wetland in developing countries: case study Mahajanga (Madagascar)
- Torregrossa M. (2014) Fitodepurazione, Università degli studi di Palermo

ALLEGATI