

Un solitario sarà sobrio, pio, porterà un cilicio; ebbene, egli sarà santo: ma io non lo chiamerò virtuoso che quando avrà compiuto qualche atto di virtù da cui gli altri uomini avranno tratto beneficio. Fintanto che è solo, non agisce né bene né male; per noi non è niente.

Voltaire, Dizionario Filosofico

[...]la rivoluzione deve cominciare da ben più lontano, deve cominciare in interiore homine. Occorre che la gente impari a non muoversi, a non collaborare, a non produrre, a non farsi nascere bisogni nuovi, e anzi a rinunciare a quelli che ha.

Luciano Bianciardi, La vita agra

Indice generale

1	Introduzione.....	4
2	Problematiche connesse al trattamento delle acque reflue.....	6
2.1	Parametri fisici.....	6
2.1.1	Temperatura.....	6
2.1.2	Odore.....	7
2.1.3	Colore.....	7
2.1.4	Componente solida.....	8
2.2	Parametri Chimici.....	8
2.2.1	pH.....	8
2.2.2	Componenti Organiche.....	9
2.3	Parametri Microbiologici.....	16
2.4	Quantità: Carico organico, portata, concentrazione.....	18
2.4.1	Carico organico.....	18
2.5	Fanghi fecali (FS- Faecal sludge).....	19
2.5.1	Caratteristiche qualitative FS.....	20
2.5.2	Problematiche connesse al riutilizzo in agricoltura.....	22
2.5.3	FS, analisi quantitativa.....	23
2.6	Limiti normativi.....	24
3	Approccio decentralizzato al trattamento dei reflui.....	25
3.1	Emergenza sanitaria legata alla gestione di reflui e fanghi.....	26
3.2	Applicazioni più diffuse.....	29
3.2.1	Sistemi on-site.....	29
3.2.2	Sistemi cluster.....	33
4	Tecnologie Appropriate.....	38
4.1	Cosa è una tecnologia appropriata.....	38
4.2	Caratteristiche delle tecnologie appropriate.....	39
4.3	I teorici delle Tecnologia Appropriate.....	39
4.4	Perchè le tecnologie appropriate sono particolarmente adatte ai paesi in via di sviluppo.....	41
4.5	Tecnologie appropriate e trattamento dei reflui; Sustainable Sanitation.....	43
5	Primo esempio applicativo, impianto di fitodepurazione SSFH a Lugo di Baiso, RE.....	45
5.1	Note introduttive e legenda.....	45
5.2	Dimensionamento di un impianto.....	46
5.2.1	Generalità sulla fitodepurazione.....	46
5.2.2	Funzionamento di un impianto SSF – processi fisici e chimici.....	46
5.2.3	Schema progettuale e dimensionamento di massima impianto SSF-h.....	48
5.3	Struttura dell'impianto.....	56
5.3.1	Griglia.....	56
5.3.2	Vasca Imhoff.....	56
5.3.3	Prefiltro.....	58
5.3.4	Le 3 vasche in parallelo.....	59
5.4	Dati di progetto.....	62
5.5	Rendimenti.....	64
5.6	Conclusioni.....	66
6	Secondo esempio applicativo: Double-pit compost toilet (Fossa Alternata).....	68
6.1	Composting: introduzione al riutilizzo dei reflui.....	68
6.2	Funzionamento e struttura di una compost toilet.....	71
6.3	Progettazione di una latrina Fossa Alternata.....	73

6.3.1	Scelta del sito.....	73
6.3.2	Dimensionamento delle camere di compostaggio.....	73
6.3.3	Costruzione di una latrina Fossa alterna.....	74
6.4	Criteri di utilizzo e manutenzione	82
6.5	Analisi dei risultati ottenuti dal riutilizzo del compost	83
7	Conclusioni.....	86
8	Bibliografia.....	88
8.1	Materiale Cartaceo.....	88
8.2	Web.....	89

1 Introduzione

Le problematiche connesse allo smaltimento delle acque nere sono note da sempre alle civiltà umane, e ogni generazione ha sviluppato o tentato di sviluppare soluzioni più o meno adeguate per la loro gestione.

Ad oggi esiste una gamma piuttosto ampia di soluzioni differenziate per costi, livello tecnologico ed efficienza; in generale questi sistemi si propongono di neutralizzare i principali rischi connessi alla dispersione nell'ambiente di reflui non trattati, ovvero i rischi generati dall'elevato contenuto di materiale organico, agenti patogeni, nutrienti (fosforo ed azoto nelle loro varie forme organiche soprattutto) e metalli pesanti presente negli escrementi umani nello specifico e più in generale nelle acque provenienti da utilizzo domestico ed industriale.

Tuttavia se ci soffermiamo sulla questione dei reflui domestici ci rendiamo conto di come esista una sostanziale spaccatura nella gestione del problema tra mondo industrializzato e paesi in via di sviluppo (PVS); come si vedrà meglio in seguito infatti, nei paesi ricchi e dalla forte urbanizzazione è invalso il paradigma di gestione centralizzata dei reflui, che prevede la raccolta e il convogliamento delle acque nere tramite sistema fognario e successivo trattamento mediante impianti di depurazione di grandi dimensioni, mentre nei PVS fatta eccezione per le città più grandi la mancanza di infrastrutture e di risorse porta spesso allo scarico indiscriminato nell'ambiente di reflui non adeguatamente trattati esponendo così 2,6 miliardi di esseri umani ai rischi legati all'impossibilità di accedere ai servizi igienici di base.

Da una parte, il paradigma della gestione centralizzata, ampiamente diffuso in tutto il mondo occidentale e basato sul trasporto dei reflui tramite sistema fognario, presenta comunque diversi aspetti negativi in quanto;

- richiede elevati consumi di acqua potabile di buona qualità;
- è stato sviluppato senza considerare la necessità di riequilibrare i cicli biogeochimici, e favorire il riuso dell'acqua e dei fertilizzanti contenuti nell'acqua di scarico;
- provoca la commistione di piccoli quantitativi di materiale fecale a elevato rischio igienico sanitario con grandi quantità d'acqua, contaminando con agenti patogeni i corpi idrici recettori, diffondendo il rischio nell'ambiente;

- i sistemi fognari convenzionali (a reti miste) sono particolarmente pericolosi in occasione di eventi meteorici intensi, quando grandi quantità di acque di scarico non trattate vengono disperse nell'ambiente, attraverso gli scolmatori di piena e i bypass degli impianti di depurazione (per citare solo uno dei molti problemi gestionali).

Dall'altra, l'impossibilità di servire con infrastrutture adeguate la maggior parte della popolazione, con particolare riferimento alle aree poco inurbate e isolate geograficamente, genera una vera e propria emergenza sanitaria che coinvolge più di un terzo della popolazione mondiale; è interessante notare come esista una connessione piuttosto forte tra deficit idrico e mancanza di sistemi di igienizzazione adeguati.

Mi sono quindi posto l'obiettivo di studiare tecnologie per il trattamento dei reflui che potessero da una parte ridurre i rischi e gli sprechi di acqua dolce connessi ai trattamenti centralizzati, e dall'altra offrire una soluzione efficace, tecnologicamente semplice e a basso costo per i contesti più sfavoriti dal punto di vista economico.

A tale scopo ho scelto di presentare una panoramica delle soluzioni più diffuse nell'ambito della gestione decentralizzata dei reflui, ed in particolare tra queste ho preferito approfondire lo studio di quelle da me ritenute più rispondenti ai criteri di sostenibilità e riproducibilità a basso costo, che costituiscono il cardine della teoria delle Tecnologie Appropriate.

2 Problematiche connesse al trattamento delle acque reflue

Per un'adeguata progettazione e dimensionamento degli impianti di trattamento è necessaria una conoscenza dettagliata delle caratteristiche chimico-fisiche dei reflui, tenendo anche conto del fatto che la qualità dei fanghi è fortemente influenzata da una molteplicità di fattori esterni, come ad esempio clima, modalità di stoccaggio, tempo di permanenza in fossa; ciascuno di questi fattori può essere determinante per la scelta della soluzione ottimale.

Riportiamo quindi le principali caratteristiche proprie dei reflui, suddividendole per categorie.

2.1 Parametri fisici

2.1.1 Temperatura

La temperatura dei liquami è importante perchè influenza pesantemente tutte le cinetiche biologiche sia batteriche che algali per cui nel dimensionamento degli impianti è necessario adottare valori di progetto adeguati per posizione geografica e tipologia di liquame.

Per i climi temperati possono assumersi come valori attendibili 13°-14° in inverno e 18°-20° in estate, mentre per i climi caldi si può considerare attendibile una media di 23°-25° gradi: è da rilevare come temperature comprese in un range tra i 20° e i 30° siano considerate ottimali nelle pratiche di trattamento basate su biomasse di tipo batterico, mentre le biomasse di tipo algale lavorano al meglio in range ristretti di 2°-3° attorno a valori caratteristici delle singole specie.

Nei fenomeni di tipo batterico trova largo impiego l'equazione di Vant'Hoff-Arrhenius per il calcolo delle costanti cinetiche di biodegradazione del primo ordine K_t .

Poiché strettamente crescente e a forte pendenza nell'intorno dei valori noti a 20°C, tale funzione non è correttamente applicabile alla modellazione dei processi basati su biomasse sospese di tipo algale in quanto esse mantengono buona attività biologica in intervalli ristretti di temperatura e pertanto possono risultare limitati nella velocità da valori di temperatura anche di poco eccedenti il valore di riferimento.

2.1.2 Odore

Questo parametro è connesso al rilascio in aria di componenti gassose maleodoranti e quindi fornisce indicazioni sul grado di putrescenza e decomposizione anaerobica della sostanza organica.

Attraverso determinazioni organolettiche viene definita una “unità d'odore” secondo un'apposita scala olfattiva individuata da “panels”(gruppi di persone addestrate all'uopo) che procedono a diluizioni successive con aria fino a raggiungere la soglia di percettibilità dell'odore (MDTOC).

La misura dell'odore risulterà quindi espressa dal numero di diluizioni effettuate.

Principali responsabili dei cattivi odori sono le emissioni gassose a base di *idrogeno solforato, mercaptani, ammoniacca, indolo, scatolo, etc.*

2.1.3 Colore

La colorazione di un'acqua può essere dovuta sia a sostanze sospese che disciolte.

Nelle acque naturali la determinazione viene fatta per confronto con soluzioni standard a concentrazione nota di cloroplatinato di potassio (1 unità colorimetrica=1 mg di potassio).

Nei reflui invece a causa della prevalenza della componente sospesa tale metodo non è applicabile per cui si opera direttamente su campione determinando il numero di diluizioni successive necessario a rendere il colore non più percettibile su uno spessore d'acqua di 10 cm.

Il colore di un liquame nello specifico caso dei reflui domestici può fornire indicazioni

per lo più circa l'evoluzione degradativa cui è stato soggetto il substrato organico da essi veicolato.

Possiamo pertanto stabilire una relazione tra il colore del liquame da una parte e le condizioni settiche e il tipo di degradazione in corso dall'altra: colorazioni grigie corrispondono a liquami freschi ed aerati, colorazioni grigio scure o nerastre sono associate a liquami settici che presentano processi anaerobici in atto, mentre l'evoluzione a toni del marrone si riscontra man mano che procede la crescita delle biomasse attive a spese del substrato carbonioso.

2.1.4 Componente solida

Il parametro Solidi Totali (TS) rappresenta la totalità della massa solida presente nel liquame sia in sospensione che in soluzione, ovvero la totalità delle varie sostanze presenti nella miscela liquida che rimangono in un contenitore dopo che tutta l'acqua è stata fatta evaporare.

Convenzionalmente viene considerata sospesa (SS) la massa trattenuta dalla filtrazione su membrana di 0,45 micron, mentre ciò che passa viene definito disciolto (DS). In pratica i solidi sospesi indicano le sostanze presenti nell'acqua sotto forma di particelle sospese o colloidali.

2.2 Parametri Chimici

2.2.1 pH

Il pH esprime la concentrazione di ioni idrogeno presenti nell'acqua, ed è un parametro di grande rilevanza nel condizionare gran parte delle reazioni chimiche e biochimiche presenti negli ecosistemi acquatici; esso va tenuto sotto controllo nella maggior parte dei trattamenti dei fanghi, poiché se da una parte condiziona l'attività biologica delle diverse popolazioni batteriche deputate alla depurazione, ciascuna delle quali deve operare all'interno di specifici intervalli di pH, dall'altra rappresenta l'effetto che le singole reazioni biochimiche producono sulle acque trattate.

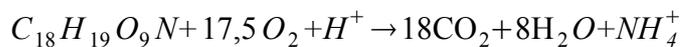
Ad esempio cali di pH corrispondono a processi in atto di nitrificazione biologica o

digestione anaerobica, mentre incrementi sono riscontrabili in condizioni anossiche di denitrificazione o in presenza di attività fotosintetica microalgale.

2.2.2 Componenti Organiche

La determinazione delle componenti organiche di un liquame su base stechiometrica risulta impossibile a causa del gran numero di molecole coinvolte.

Diventa quindi necessario operare attraverso parametri indicatori che fanno riferimento a reazioni ossidative caratteristiche della materia organica, esprimibile secondo la formula $(C_{18}H_{19}O_9N)$, del tipo:



- **B.O.D.** Si indica con BOD la quantità di ossigeno richiesta dai microrganismi aerobi per poter procedere all'assimilazione e alla degradazione delle sostanze organiche presenti nelle acque.

Determinando l'andamento nel tempo della richiesta di ossigeno, si ottengono informazioni su quantità e qualità della sostanza organica prodotta dagli organismi consumatori superiori (biomassa morta o detrito) e scaricata nell'acqua.

La velocità di rimozione del substrato viene approssimata con una legge del primo ordine: il tasso di rimozione è proporzionale alla concentrazione di substrato (sostanza organica) istantaneamente presente:

$$\frac{dS_T}{dt} = -k_e S_T \text{ dove;}$$

$$\frac{dS_t}{dt} = \text{velocità di rimozione del substrato, } S_t = \text{quantità di substrato residua}$$

presente al tempo t , k_e = costante di reazione (t^{-1}), S_0 = valore iniziale del substrato, che viene abbattuto in tempi lunghi. Integrando per parti si ottiene;

$$S = S_0 e^{(-k_e t)}$$

Chiamato BOD_t l'ossigeno consumato in mg/l al tempo t, questi è dato dalla differenza tra S_0 (valore del substrato iniziale) e S_t (sostanza organica ancora da ossidare al tempo t), ovvero: $BOD_t = S_0 - S_t$. Posto $BOD_{tot} = S_0$, si ha

$$S_t = BOD_{tot} - BOD_t, \text{ da cui } BOD_t = BOD_{tot} * (1 - e^{(-k_e t)}).$$

Il valore numerico associato al parametro BOD corrisponde convenzionalmente alla richiesta di ossigeno soddisfatta dopo 5 giorni, per cui viene solitamente indicato anche con il termine BOD_5 che rappresenta il 68% della richiesta totale. Per ottenere il BOD_{tot} , valore corrispondente al soddisfacimento del 99% della richiesta totale occorre invece prevedere tempi di consumo pari a circa 20 giorni.

Il BOD può essere misurato per diluizione o per respirometria.

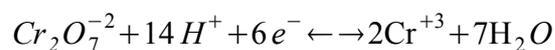
Nel primo caso il campione di liquame, in condizioni inizialmente settiche, viene diluito fino ad ottenersi un valore di richiesta di ossigeno inferiore all'ossigeno solubizzabile con aerazione artificiale. Poi dopo aver portato l'ossigeno in condizioni prossime alla saturazione mediante aerazione energica, si rileva la concentrazione iniziale. Si pone il campione in bottiglia chiusa in ambiente termocondizionato a 20°C e, dopo 5 giorni, si misura nuovamente l'ossigeno determinando per differenza la quantità utilizzata dal metabolismo batterico aerobico. Infine, controllato che il consumo sia stato almeno di 2mg/l e che nel campione sia residuo almeno 1 mg/l di ossigeno disciolto, moltiplicando per il numero di diluizioni effettuato in partenza, si ottiene il BOD_5 originario. Nella pratica si usa generalmente il BOD_5 ma a volte può essere necessario conoscere la richiesta totale di ossigeno (BOD_{tot}) per valutare al meglio la trattabilità di un liquame. Per calcolare tale parametro secondo la cinetica sopra descritta sarebbe necessario attendere un tempo infinito prima della seconda misurazione di ossigeno; si accetta pertanto che il completamento delle reazioni biologiche degradative si raggiunga tecnicamente dopo 20 giorni, quando cioè la richiesta di ossigeno giunge a circa il 99% del totale, e si assume quindi

$$BOD_{tot} = BOD_{20}$$

Nel secondo caso il campione il campione viene introdotto in cella agitata chiusa con atmosfera d'aria e mantenuto a 20°C. Il metabolismo batterico anaerobico in atto provvede al consumo dell'ossigeno solubilizzato in acqua dall'atmosfera d'aria mentre la CO_2 contemporaneamente restituita all'acqua non viene ceduta all'aria perchè fissata dalla soluzione in acqua di idrato di potassio. Ciò comporta l'instaurarsi in cella di una depressione correlabile all'ossigeno consumato.

Da quanto detto emerge quanto il BOD sia un parametro di controllo per liquami difficile da utilizzare a causa della scarsa significatività, la difficile riproducibilità e soprattutto la lunghezza delle procedure di misura. Nel caso dei liquami urbani esistono correlazioni lineari significative a sufficienza tra BOD_5 e COD tali da poter determinare il BOD a partire dal COD.

- **C.O.D.** Si indica con COD (Chemical oxygen demand) la quantità di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente, con specifiche modalità operative standardizzate, le sostanze ossidabili presenti nei liquami: è un indice che individua non solo le sostanze organiche ossidabili biologicamente, ma anche le sostanze organiche non biodegradabili che risultano ossidabili solo chimicamente. La misura del COD si effettua mediante determinazioni chimiche basate sull'ossidazione delle sostanze per mezzo di ossidanti energici. Secondo lo standard attuale viene utilizzato il bicromato di potassio $K_2Cr_2O_7$ ad alta temperatura con catalizzatore Ag_2SO_4 . Operando con ossidante in eccesso dopo 2 ore di reazione di ossidazione delle sostanze organiche il bicromato viene ridotto a cromo trivalente secondo:



Si determina così per titolazione la quantità di bicromato residuo e per differenza quello consumato. Infine si riporta il valore in termini equivalenti di ossigeno.

- **T.O.C.** Il TOC (Total Organic Carbon) rappresenta il quantitativo totale di carbone organico presente nel liquame. La determinazione viene effettuata introducendo il

campione in una cella di combustione catalizzata e misurando la CO_2 prodotta mediante analizzatore all'infrarosso. Questa tecnica ha il vantaggio di rappresentare direttamente il quantitativo di sostanza organica secondo il parametro costitutivo fondamentale senza l'ausilio di parametri indicatori (richiesta d'ossigeno, solidi volatili etc.), tuttavia non è esente da interferenze dovute alla presenza di carbonio inorganico ossidabile (carbonati) in cui il superamento rende necessario operare la rimozione preliminare in campo acido della CO_2 prodotta dai carbonati riducendo di fatto l'applicazione in continuo della tecnica.

- **Kubel** Questo parametro misura l'ossidabilità in acque a basso tenore di sostanza organica. E' tipico delle acque naturali anche soggette ad approvvigionamento idropotabile. Il metodo di analisi provvede a determinare un grado di ossidabilità parzialmente esteso alle sostanze chimiche pertanto i valori ottenuti risultano paragonabili a quelli di un parametro intermedio tra BOD e COD.
- **Grassi ed olii** Grassi ed olii derivano dall'attività domestica di preparazione del cibo, dal traffico veicolare e da particolari attività artigianali o industriali. Sono miscele di glicerina ed acidi grassi e si definiscono grassi o olii se a temperatura ambiente si trovano allo stadio solido o liquido. Poiché sono dotati di densità inferiore a quella dell'acqua, tendono ad accumularsi in superficie, ed occupando l'interfaccia aria-acqua ostacolano significativamente l'aerazione sia naturale che artificiale delle acque. Si rende pertanto necessario rimuoverli meccanicamente prima che giungano alle fasi secondarie di trattamento, poiché nonostante si tratti di sostanze biodegradabili sono caratterizzati da reazioni degradative molto lente e possono quindi ostacolare l'aerazione del liquame
- **Tensioattivi** Si tratta di composti organici che presentano per composizione molecolare caratteristiche idrofobe e idrofile. Immessi in acqua ne modificano le proprietà chimico fisiche della superficie operando diminuzioni della tensione superficiale ed aumentandone il potere schiumogeno. Nei liquami non trattati la concentrazione di tensioattivi risulta di alcuni mg/l; nelle acque naturali valori di 0,2-0,3 mg/l possono provocare la formazione di schiume superficiali e riduzioni a

parità di turbolenza del coefficiente di reaerazione.

- **Componenti Inorganiche: Azoto e Fosforo** Azoto e Fosforo hanno un ruolo molto importante nel metabolismo batterico ed algale perché da un lato fanno parte degli elementi costitutivi la sostanza organica, dall'altro sono in natura meno presenti nelle acque rispetto a carbonio, idrogeno ed ossigeno (altri elementi costitutivi). La presenza in percentuale inferiore di uno dei due rispetto alla percentuale di presenza nella biomassa batterica o algale funge da limitante alla crescita della popolazione, per questo azoto e fosforo vengono spesso definiti “nutrienti”.
- **Azoto** E' presente in forme diverse sia nelle acque naturali che nei sistemi depurativi, in ragione dei differenti stadi ossidativi. Tra le forme più utili da ricordare in funzione dei bilanci ossidativi corrispondenti alle varie fasi della depurazione biologica abbiamo;
 - **Azoto organico** (N_{org}) E' l'azoto costitutivo della sostanza organica (substrato e biomassa attiva) presente nel liquame. L'azoto organico del substrato evolve per lisi cellulare ad azoto ammoniacale.
 - **Azoto ammoniacale** ($N-NH_4^+$) E' l'azoto di origine ammoniacale che in acqua si presenta disciolto in forma ionica NH_4^+ (ione ammonio) in equilibrio con l'ammoniaca in forma di gas NH_3 secondo la reazione:
$$NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4^+$$

a pH prossimi a 7 prevale largamente la forma ammoniacale ionica non particolarmente tossica, mentre ad incrementi di pH corrisponde uno spostamento verso sx dell'equilibrio di reazione, a cui è associato un incremento dell'azoto presente in fase gassosa non ionica. Tale stato comporta tipicamente effetti di tipo tossico su gran parte degli organismi consumatori superiori sia acquatici che terrestri.
 - **Azoto Kjeldahl** o Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) è dato dalla somma di azoto organico ed ammoniacale e rappresenta la totalità dell'azoto presente nei liquami grezzi di origine strettamente domestica.
 - **Azoto nitroso** ($N-NO_2^-$) poiché si tratta di una forma intermedia

instabile è presente in basse concentrazioni negli scarichi urbani mentre tenori più elevati possono essere indicativi di trattamenti incompleti delle fasi aerobiche di depurazione.

- **Azoto Nitrico** ($N - NO_3^-$) rappresenta la forma ossidata finale a nitrato. Il tenore di azoto nitrico aumenta al procedere delle fasi ossidative all'interno degli impianti di trattamento e in natura al procedere verso valle di acque fluviali ricettrici di forme ridotte (TKN) in buone condizioni di reaerazione. Molto importante ai fini depurativi è la possibilità offerta da alcune biomasse batteriche di ridurre i nitrati ad azoto molecolare, operazione svolta dai batteri utilizzando l'ossigeno presente nella molecola del nitrato per le proprie esigenze metaboliche. Ciò può avvenire solo in condizioni anossiche, quando cioè non è disponibile ossigeno disciolto ma solamente quello legato all'azoto.
- **Azoto molecolare** (N_2) è l'azoto in forma gassosa che se rilasciato in acqua procede in atmosfera da cui può essere estratto e fissato in biomassa da vegetali specifici (leguminose); in acqua può essere assunto per sintesi solo da alcune specie batteriche ed algali.
- **Azoto totale** (N_{tot}) rappresenta la totalità dell'azoto presente in tutte le forme nel liquame.

$$N_{tot} = TKN + (N - NO_2^-) + (N - NO_3^-)$$

- **Fosforo** E' elemento costitutivo della sostanza organica e si trova nelle acque in tre forme fondamentali:
 - **Fosforo Organico** (P_{org}) è il fosforo costitutivo delle molecole organiche che per decomposizione batterica evolve ad ortofosfati.
 - **Fosforo ortofosfato** ($P - P_{PO_4}^-$, $P - P_{PO_4}^{-2}$, $P - P_{PO_4}^{-3}$) forma polimerica composta da più molecole di ortofosfati legate tra loro per condensazione con rilascio d'acqua. Idrolizzato torna ad ortofosfati.
 - **Fosforo Totale** (P_{tot}) rappresenta la totalità del fosforo presente in tutte le forme nel liquame

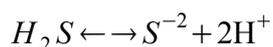
$$P_{tot} = P_{org} + (P - PO_4^{-2}) + (P_{POLI})$$

Nel liquame in ingresso sono presenti tutte le tre forme mentre nel liquame trattato è largamente dominante l'ortofosfato.

- **Cloruri** I cloruri provengono dal metabolismo umano in ragione circa 6 g/ab e sono contenuti principalmente nelle urine. Non venendo rimossi da processi biologici naturali delle acque né da fenomeni di adsorbimento del terreno, possono così costituire un valido tracciante nella localizzazione di scarichi trattati e non trattati. Non sono ad essi applicabili tecniche di rimozione biologiche: esistono metodi di trattamento di tipo chimico-fisico come dissalazione o processi a membrana, tuttavia a causa degli elevati costi e di problematiche di malfunzionamento per presenza di altri inquinanti sono poco utilizzati.

- **Solfati e Solfuri** La presenza di solfati nei liquami non è dovuta ad apporti antropici ma alla presenza degli stessi nelle acque di approvvigionamento o a specifici apporti industriali. Lo zolfo è però presente in forma organica nei liquami essendo uno degli elementi costitutivi delle proteine. In natura i solfati possono essere ridotti a solfiti e poi a solfuri ad opera di batteri autotrofi facoltativi (*desulfovibrio desulfuricans*) in assenza di ossigeno disciolto e nitrati oppure sintetizzati in zolfo organico ad opera di vegetali. Processi batterici di decomposizione anaerobica della biomassa morta vegetale restituiscono ancora solfuri che, ad opera di popolazioni batteriche aerobiche, possono essere trasformati prima a zolfo elementare poi a solfiti ed infine a solfati.

Il problema maggiore in termini di qualità è legato ai cattivi odori e in particolare alla presenza di solfuri che a bassi pH si liberano in atmosfera in forma di idrogeno solforato sulla base dell'equilibrio:

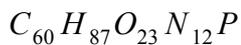


- **Metalli Pesanti** Sono così denominati, per l'elevato peso atomico, quei metalli che sono presenti nelle acque reflue perché scaricati da attività industriali o perché accumulati al suolo dopo essere stati rilasciati in atmosfera e convogliati nei reflui dalle precipitazioni. Si tratta di metalli quali nichel, manganese, cromo, piombo,

zinco, rame, cadmio, mercurio, ferro, etc. che, se presenti allo stato ionico possono precipitare come carbonati o idrossidi condizionando il pH dei reflui. Nei liquami urbani che presentano usualmente pH debolmente alcalino la precipitazione chimico fisica avviene solo parzialmente per cui possono persistere anche dopo trattamento biologico problemi di tossicità residua nelle acque e problemi di accumulo nei fanghi di depurazione.

2.3 Parametri Microbiologici

- **Virus** Sono organismi unicellulari aventi diametro compreso tra 0,01 e 0,1 micron; sono parassiti di animali, funghi, alghe e batteri. Essi crescono e si riproducono necessariamente a spese di altre cellule viventi. Composti da lunghe molecole di DNA o RNA sono privi di acqua e si riproducono in zona intracellulare attraverso la modifica dell'attività metabolica delle cellule ospiti che a seguito della sintetizzazione di nuovi virus spesso muoiono.
- **Batteri** Detti anche protisti sono organismi unicellulari di dimensione media dell'ordine del micron che presentano tre forme caratteristiche: cilindrica (bacilli), sferica (cocchi), ad elica (spirilli). Si riproducono per scissione binaria una volta raggiunto l'accrescimento limite alimentandosi di sostanze solubili passanti attraverso la membrana cellulare. Sono composti per l'80% di acqua e per il 20% di secco; la sostanza secca è al 90% organica e per il restante 10% inorganica. Possono essere rappresentati secondo formule empiriche del tipo:



- **Agenti Patogeni** Si definiscono saprofiti intestinali quei batteri che vivono nel canale alimentare degli animali superiori in un rapporto di mutualismo con l'animale ospitante; essi contribuiscono alla digestione e producono vitamine che l'animale ospite non è in grado di sintetizzare; in cambio, i batteri utilizzano alcune sostanze presenti nell'apparato digerente dell'ospite. Essi sono la cosiddetta flora intestinale. Sono invece agenti patogeni quei batteri capaci di fare insorgere malattie in altri organismi viventi; provengono da altri organismi superiori malati e sono veicolati con le deiezioni nelle acque di rifiuto. Considerato il gran numero di specie di patogeni e la complessità della loro identificazione e conteggio, si ricercano in loro

vece microrganismi indicatori più semplici da individuare e contare. I principali indicatori nel controllo microbiologico sono:

- ***Coliformi totali*** sono microrganismi (coccobacillari gram-negativi) che indicano una contaminazione fecale, anche se non esclusiva, delle acque. Sono infatti naturalmente presenti in natura nell'acqua e nel suolo. Secondo il DPR 470/82 non devono superare il limite di 2000/100 ml di acqua marina.
- ***Coliformi fecali*** sono microrganismi (coccobacillari gram-negativi) costituenti la normale flora microbica intestinale dell'uomo e dei mammiferi. La presenza nell'acqua evidenzia una contaminazione fecale recente, in quanto hanno una vita media di pochi giorni. Secondo il DPR 470/82 non devono superare il limite di 100/100 ml di acqua marina.
- ***Streptococchi fecali*** sono batteri di forma sferica disposti a catenelle; formano la flora microbica intestinale. La loro presenza è indice di contaminazione fecale recentissima. Il limite accettato è di 100 colonie per 100 ml (DPR 470/82).
- ***Escherichia Coli*** si tratta di un microrganismo mobile per flagelli, a forma di bastoncello, anaerobico facoltativo, che opera la fermentazione del lattosio con formazione di acidi e gas dopo 48 h di incubazione a 44°C. La specie proviene dai reflui umani o animali, sversati direttamente nei corpi ricettori, o veicolati dalle acque di dilavamento con le piogge. Appartenente al gruppo dei batteri coliformi, vive nell'ambiente intestinale dell'uomo e degli animali ed è sensibile a molti disinfettanti chimici e fisici. L'organizzazione Mondiale della Sanità già da tempo considera E. Coli un indicatore primario di inquinamento fecale, a causa della maggiore stabilità in ambiente acquatico rispetto ai coliformi fecali che risentono maggiormente delle variazioni stagionali
- ***Enterococchi*** Costituiscono un sottogruppo degli streptococchi; essi si sviluppano tipicamente nel tratto intestinale e nelle feci di uomini e animali, ma possono estendersi al tratto iniziale del sistema gastrointestinale o alle vie urinarie e genitali. Alcune specie sono state isolate anche nel suolo, nei cibi, in acqua e nelle piante, ed è proprio la loro capacità di sopravvivere in diverse condizioni ambientali che spiega la loro diffusione. Sono dei validi indicatori perché rivelano condizioni di sopravvivenza simili a quelle dei patogeni e sono presenti significativamente ed esclusivamente nelle feci, manifestando

incapacità a moltiplicarsi nell'ambiente. Per essi sono disponibili metodi identificativi semplici e di buona riproducibilità, si ritiene pertanto che gli enterococchi possano ben rappresentare la contaminazione microbica da fonti animali o vegetali e che, rispetto al gruppo dei coliformi, diano migliori indicatori della contaminazione fecale anche di acque destinate a scopo ricreativo.

2.4 *Quantità: Carico organico, portata, concentrazione*

2.4.1 Carico organico

Talvolta definito come portata in massa, il carico organico rappresenta la quantità di sostanza organica, in BOD, trasportata da una corrente idrica ad una data sezione nel tempo. Generalmente il carico organico fognario urbano si esprime in kg/d, poiché le modalità di scarico da fonti domestiche presentano ciclicità giornaliera e si fa riferimento all'abitante come unità di produzione e al collettore finale di fognatura come sezione di misura. I carichi su bacino idrografico invece, poiché scaricati anche su superficie diffusa e stagionale in funzione dell'uso anche agricolo del suolo, presentano ciclicità annuale e vengono espressi in kg/y alla sezione fluviale di chiusura bacino. Può essere comodo nel dimensionamento degli impianti fare riferimento all'abitante equivalente A.E come unità di misura del carico organico.

Deiezioni		Solide	Liquide	Totale
Sost. Organiche (BOD_5)	$g*(ab*d)^{-1}$	25	45	70
Sostanze inorganiche	$g*(ab*d)^{-1}$	5	15	20
Azoto ($N_{tot}=TKN$)	$g*(ab*d)^{-1}$	1,5	11,5	13
Fosforo (P_{tot})	$g*(ab*d)^{-1}$	0,70	0,90	1,6
Cloruri	$g*(ab*d)^{-1}$	1	5	6
Acqua	$g*(ab*d)^{-1}$	90	1160	1250

Ad un abitante equivalente per BOD (usualmente indicato con AE) corrisponderà

dunque il carico in BOD prodotto da una persona di corporatura media pari circa $70 \text{ g} \cdot (\text{ab} \cdot \text{d})^{-1}$, ad un abitante equivalente per azoto un carico di azoto totale pari a $13 \text{ g} \cdot (\text{ab} \cdot \text{d})^{-1}$ e così via.

Carichi giornalieri medi pro capite di inquinanti di origine organica scaricati dagli abitanti di città europee;

Parametro	Valore $\text{g} \cdot (\text{ab} \cdot \text{d})^{-1}$	Parametro	Valore $\text{g} \cdot (\text{ab} \cdot \text{d})^{-1}$
BOD	70	P organico	0,7
COD	160	P inorganico	1,5
SST	90	P totale	2,2
TKN	13	Oli e grassi	30
N-NH4	8	Cloruri	6
N organico	5	Coliformi fecali	$1 \cdot 10^{10}$
N totale	13	Escherichia Coli	$1 \cdot 10^8$

2.5 Fanghi fecali (FS- Faecal sludge)

Un discorso a parte va fatto per le caratteristiche dei fanghi fecali, che a causa del loro grado di diluizione scarso o nullo differiscono in maniera considerevole dai normali reflui domestici; si tratta infatti di materiale altamente concentrato e ricco di agenti patogeni potenzialmente dannosi per l'uomo, il che rende necessario adottare strategie di trattamento che minimizzino il potenziale contaminante di questo tipo di reflui.

Bisogna inoltre considerare che la qualità dei fanghi può essere fortemente influenzata da parametri esterni quali temperatura, modalità e tempo di stoccaggio, eventuali infiltrazioni di acque meteoriche e metodo di riutilizzo, pertanto la scelta della modalità di trattamento deve tener conto anche della loro variabilità qualitativa. Di seguito verranno quindi fornite indicazioni sulle caratteristiche dei fanghi e le principali differenze rispetto ai reflui urbani.

2.5.1 Caratteristiche qualitative FS

Nella tabella successiva viene data un'indicazione di massima circa la composizione chimica degli escrementi umani e il loro grado di umidità;

	Feci	Urine	Totale Escrementi
Quantità e tipologia di rifiuto			
$g*(ab*d)^{-1}$ (umido)	250	1200	1450
$g*(ab*d)^{-1}$ (secco)	50	60	110
$g*(ab*d)^{-1}$ (umido, comprensivo di 0,35 litri di acqua di lavaggio)			1800
$m^3*(ab*d)^{-1}$ (dopo stoccaggio e digestione per periodi ≥ 1 anno in climi caldi)			0,04-0,07
Contenuto acqua in %			50-95
Composizione chimica	% di solidi secchi		
Materia organica	92	75	83
C	48	13	29
N	4-7	14-18	9-12
P_2O_5	4	3,7	3,8
K_2O_7	1,6	3,7	2,7

Per quantificare l'ordine di grandezza degli agenti patogeni (virus e batteri provenienti dalla flora intestinale umana) si rimanda alle tabelle e alle considerazioni contenute nei paragrafi successivi; il contenuto di patogeni come già accennato è fortemente dipendente dal tempo di stoccaggio e da condizioni ambientali come temperatura e aerazione dei fanghi, pertanto in questa fase si farà una valutazione di carattere indicativo.

Per avere un'idea della differenza in termini di contenuto organico e percentuale di umidità esistente tra reflui urbani e FS può essere utile affiancare i rispettivi valori di tali parametri;

	FS tipo “A” (molto concentrato)	FS tipo “B” (poco concentrato)	Acque Nere urbane
Esempio	Fango prodotto da latrina pubblica	Fango prodotto in fossa settica	Acque nere prodotte in climi tropicali
Qualità fango	FS ad alta concentrazione e, perlopiù fresco, stoccato per pochi giorni o settimane	FS a bassa concentrazione e, stoccato per alcuni anni, più stabile del tipo “A”	
COD mg/l	20-50000	<15000	500-2500
COD/BOD	5:1 – 10:1	5:1 - 10:1	2:1
NH₄-N	2-5000	<1000	30-70
TS mg/l	>3,5%	<3%	<1%
SS mg/l	>30000	c.a. 7000	200-700
Uova di elminti, no./l	20-60000	c.a. 4000	300-2000

I dati della tabella sono stati raccolti da sistemi di trattamento on site in paesi tropicali (Accra in Ghana, Manila nelle Filippine, Bangkok in Thailandia), comparati con i valori medi degli stessi parametri tipici delle acque di fogna nei climi tropicali.

La differenza più rilevante ed immediatamente evidente è come il contenuto di materia organica, nutrienti e uova di elminti sia maggiore di un fattore 10 nei fanghi freschi e non trattati; come abbiamo già sottolineato però, la qualità dei FS varia fortemente in funzione delle condizioni al contorno (durata del periodo di stoccaggio, modalità di rimozione, clima, etc.), specialmente la pericolosità dei patogeni è infatti inversamente proporzionale al tempo di residenza.

2.5.2 Problematiche connesse al riutilizzo in agricoltura

I FS possono essere riutilizzati in loco dopo un adeguato trattamento come fertilizzante naturale; questa opzione è particolarmente indicata laddove la raccolta dei fanghi risulti difficoltosa per problemi logistici o troppo costosa.

Andiamo a vedere nel dettaglio le caratteristiche dei FS in relazione al loro riutilizzo come concime; i parametri più rilevanti in quest'ottica sono senz'altro la presenza di patogeni e di metalli pesanti. I primi in particolar modo influiscono pesantemente sulla qualità igienica dei fanghi, che deve essere garantita se si vogliono evitare danni all'ambiente e infezioni.

- **Agenti patogeni** In molte aree dell'Asia, dell'Africa e dell'America latina le infezioni più diffuse sono quelle causate da Elminti (prevalentemente nematodi). Tra i patogeni che generano infezioni gastrointestinale i nematodi risultano essere più resistenti nell'ambiente rispetto a virus, batteri e protozoi. Pertanto il loro numero diventa il parametro cardine da valutare nell'ottica di riutilizzare i fanghi come fertilizzanti. La presenza di elminti nei FS è in gran parte dipendente dalla loro diffusione nella popolazione umana; la loro sopravvivenza nell'ambiente è invece legata per lo più alla durata dello stoccaggio e al tipo di trattamento.
- **Metalli pesanti** L'accumulo di metalli pesanti nel suolo causato dal ripetuto utilizzo di FS trattati come fertilizzante va limitato in quanto concentrazioni eccessive risultano dannose per le coltivazioni; talvolta può essere necessario limitare l'utilizzo dei fanghi. In molti paesi esiste una legislazione riguardo il carico massimo annuale (kg/ha*anno) di specifici metalli pesanti che possono essere scaricati nel terreno, e uno standard riguardo il contenuto massimo di metalli pesanti per fanghi utilizzati nell'agricoltura.

	Concentrazione di metalli pesanti nei fanghi, mg/Kg TS			
	Bangkok (15 campioni)	Manila (12 campioni)	Media USA	UE (limiti ammessi per i fanghi)
Cd	2,8	5,3	18	20-40
Pb	6,8	84	216	750-1200
Cu	289	64	165	1000-1750
Zn	2085	1937	1263	2500-4000
Cr	20	16	28	1000-1500

E' da notare come di solito i FS siano più “puliti” in termini di contenuto di metalli pesanti rispetto alle acque nere; questo perché non raccolgono reflui di tipo industriale che invece ne sono ricchi. Fanno eccezioni i fanghi raccolti da fosse settiche che servono anche piccole attività artigianali o industriali.

I limiti stabiliti dalla comunità europea risultano piuttosto ampi proprio in relazione al fatto che i fanghi raccolti dalle fognature spesso portano considerevoli concentrazioni di metalli provenienti da attività industriale.

2.5.3 FS, analisi quantitativa

Può essere utile riportare come indicazioni di massima i volumi pro capite e i contributi dei vari elementi costituenti dei FS; tali valori sono calcolati come media generica e bisogna tener conto che per tutte le motivazioni elencate in precedenza le quantità effettive misurate possono cambiare in maniera anche rilevante. Si riportano anche i valori relativi a FS freschi (non trattati), a scopo comparativo.

Si noti come i valori del BOD presente nei fanghi “stoccati” sono piuttosto bassi rispetto a quelli dei fanghi freschi; ciò si spiega con il fatto che durante lo stoccaggio avviene una digestione anaerobica durante la quale il 50% del carico di BOD entrante viene abbattuto.

	FS stoccato	FS da bagno pubblico	FS da latrina con pit	FS fresco
BOD $g*(ab*d)^{-1}$	1	16	8	45
TS $g*(ab*d)^{-1}$	14	100	90	110
TKN $g*(ab*d)^{-1}$	0,8	8	5	10
Volume $l*(ab*d)^{-1}$	1	2	0,15-0,20	1,5

I dati relativi ai FS stoccati e toilette pubbliche sono stati raccolti da prelievi effettuati ad Accra, Ghana; per quanto riguarda invece i dati relativi alle latrine con pit bisogna tener conto del fatto che i valori rilevati sono generalmente sovrastimati in quanto i campioni sono prelevati per lo più dalla zona superficiale delle fosse, dove si accumula il materiale più fresco e meno soggetto alla digestione anaerobica.

Dalla significativa variabilità della qualità dei fanghi in relazione ai fattori ambientali, emerge come la scelta della tipologia di trattamento non possa prescindere da una analisi caso per caso che assegni il giusto peso ad ogni fattore.

2.6 Limiti normativi

Per quanto riguarda i limiti normativi relativi ai casi di studio che mi propongo di affrontare, la situazione in Emilia Romagna, come in molte altre regioni italiane, “privilegia” i piccoli centri urbani (<10000 A.E.) consentendo di poter trattare i propri scarichi nel rispetto di limiti piuttosto permissivi. I limiti allo scarico sono infatti regolamentati dalla normativa del PTA (Piano per la Tutela delle Acque) approvato il 21 dicembre 2005, che per il caso in esame rimanda ai valori tabulati nell'allegato al Dlgs 152/99 ; i valori fissati rispetto agli inquinanti più significativi sono:

- COD 125 mg/l
- BOD_5 25 mg/l
- MST 35 mg/l
- NH_4 50 mg/l
- P totale 15 mg/l

Nei PVS spesso la legislazione addirittura non prevede una normativa specifica, lasciando quindi all'arbitrio dei gestori degli impianti (laddove esistono) il controllo della pericolosità degli scarichi; ovviamente questo vuoto legislativo porta spesso a situazioni di mancato rispetto delle più basilari precauzioni igieniche e ambientali, con conseguenze potenzialmente drammatiche per popolazioni, terreni e falde.

3 Approccio decentralizzato al trattamento dei reflui

Nella percezione comune degli abitanti del mondo industrializzato l'utilizzo di sistemi centralizzati per il trattamento dei reflui, che prevede quindi l'esistenza di un sistema fognario di raccolta e a valle di questo impianti di trattamento adatti a grandi portate, è considerato l'opzione più sicura, facilmente gestibile e meno costosa per questo tipo di problematiche.

Bisogna tuttavia ricordare che tale percezione non poggia tanto sull'evidenza scientifica, quanto su un'abitudine storica, imputabile ad una prassi del secolo scorso sviluppata in un contesto in cui si conosceva ancora molto poco riguardo ai processi chimici e fisici che regolano il trattamento dei fanghi: alla luce delle conoscenze attuali la scelta ottimale per il trattamento dovrà essere operata tenendo conto delle problematiche tecniche e delle specifiche condizioni del contesto in cui si opera, includendo in esse la sostenibilità economica ed ambientale.

Adottando questo tipo di approccio, si possono individuare nel trattamento decentralizzato diversi vantaggi rispetto a quello centralizzato:

- scompaiono le problematiche legate al trasporto delle acque nere tramite sistema fognario (esondazioni in corrispondenza di eventi meteorici critici, inquinamento di falde e terreni causato dalle perdite)
- la gestione del processo di trattamento/riuso dei reflui risulta notevolmente più agile a livelli di costi e di manutenzione
- i reflui sono riutilizzati direttamente in situ e non comportano quindi costi aggiuntivi per il loro trasporto e smaltimento.

Bisogna inoltre ricordare che anche sul piano strettamente tecnico l'efficienza di trattamenti on site adeguatamente progettati e gestiti risulta assolutamente competitiva rispetto ai risultati ottenibili con gli impianti tradizionali.

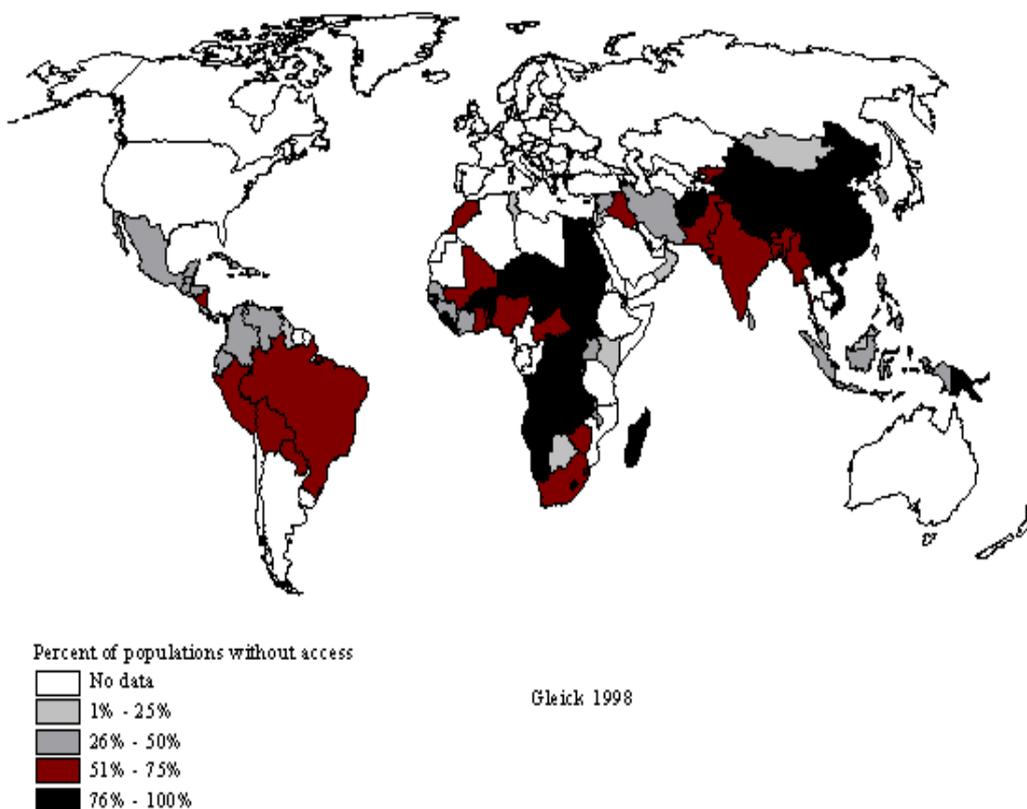
Pertanto i sistemi decentralizzati offrono soluzioni interessanti laddove l'allacciamento a un sistema di raccolta risulta problematico o impossibile a causa di costi economici eccessivi o situazioni logistiche sfavorevoli: le piccole comunità sono quindi l'utente ideale di questo tipo di tecnologie.

3.1 Emergenza sanitaria legata alla gestione di reflui e fanghi

E' necessario ricordare che ad oggi circa 2,6 miliardi di persone che vivono nei Paesi in Via di Sviluppo (PVS) non hanno accesso a nessun tipo di struttura igienico-sanitaria o di trattamento dei reflui.

L'inadeguatezza delle strutture e della gestione dei sistemi di igienizzazione sono la causa di molte malattie che sono trasmesse attraverso diversi vettori (contatto diretto, insetti ed animali, contaminazione del suolo e delle acque).

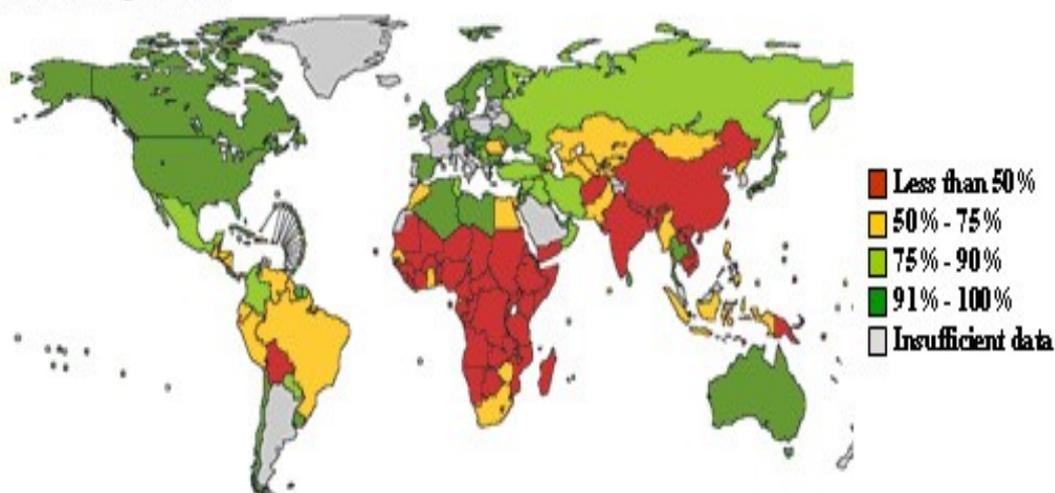
Populations Without Access to Sanitation Services, 1994



Popolazione mondiale priva di accesso ai servizi igienici di base

Nella cartina tematica qui esposta e nella successiva risulta evidente il divario esistente tra nord e sud del mondo anche per quanto riguarda l'accesso ai servizi igienici di base.

Sanitation coverage in 2002



Popolazione con accesso ai sistemi di risanamento

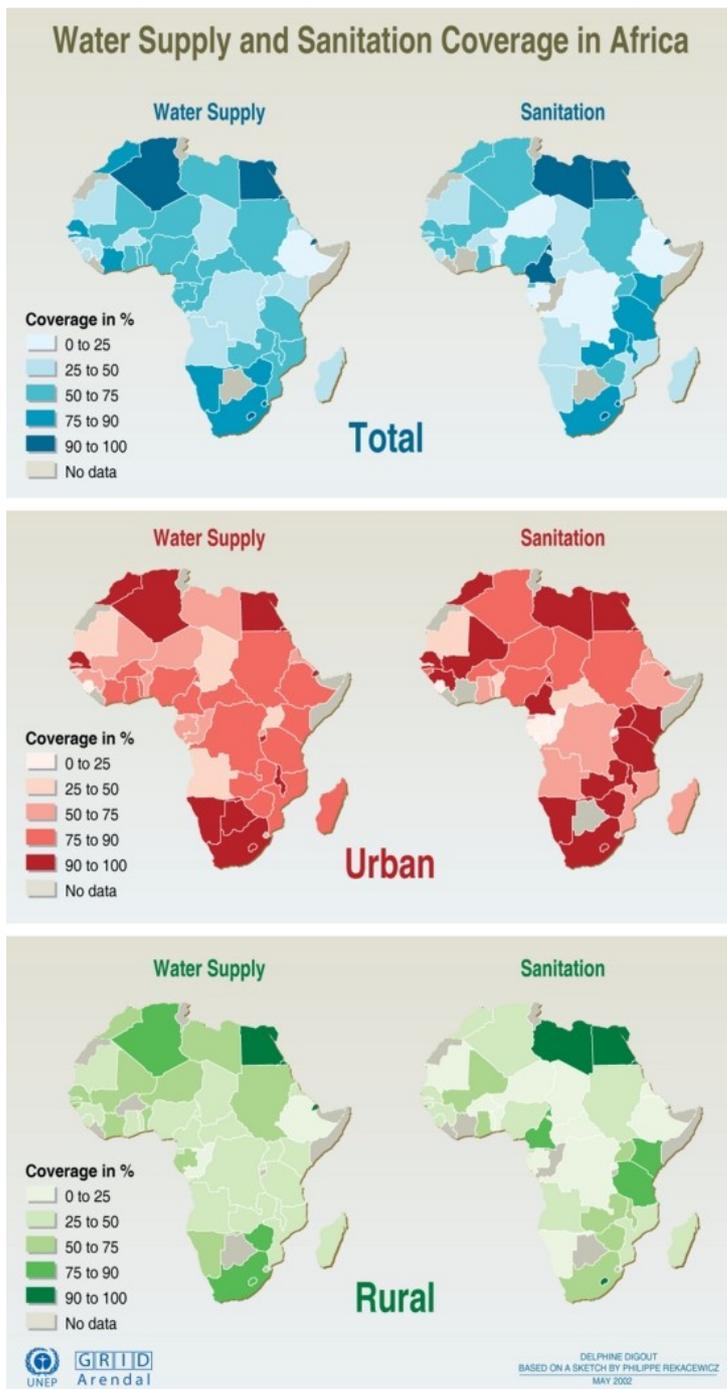
La drammaticità della situazione al sud del mondo appare ancora più evidente se consideriamo i dati relativi ai continenti più disagiati;

Regione	Popolazione totale (in milioni)	Popolazione servita (in %)
Africa	784	60
America Latina e Caraibi	519	77
Asia	3683	48
Totale	4986	53

Accesso ai servizi igienici di base, regione per regione

Un altro aspetto di cui tenere conto è la spaccatura esistente tra la realtà urbana e quella rurale; anche nei PVS infatti le possibilità per un individuo di accedere ai servizi igienici di base cambiano radicalmente a seconda del contesto.

Regione	Popolazione servita	
	Aree urbane	Aree rurali
Globale	86	38
Africa	85	45



Source: Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report.

Differente disponibilità di servizi igienici di base tra aree rurali e urbane in Africa.

Alla luce di queste considerazioni di carattere globale appare evidente come le aree rurali dei PVS siano le più svantaggiate in termini di accesso ai servizi di igienizzazione e quindi le più esposte ai rischi connessi al contatto con i reflui non trattati e all'inquinamento conseguente alla loro scarica.

3.2 Applicazioni più diffuse

Dalle considerazioni fatte in precedenza, i trattamenti decentralizzati si propongono come soluzione adatta a contesti isolati ed economicamente arretrati, e quindi possono essere utili come applicazioni a basso costo per i paesi in via di sviluppo; tuttavia possono rappresentare un'opzione valida e competitiva in termini di efficienza anche laddove non è la situazione economica ad imporre la loro adozione.

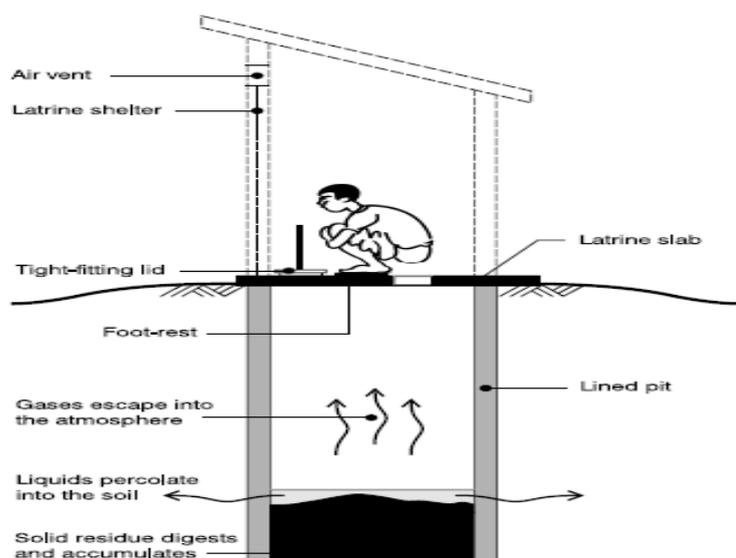
Prima di passare in rassegna le opzioni di trattamento più diffuse, facciamo una prima generica distinzione basata sul numero di utenze; parliamo infatti di

- sistemi on-site quando il sistema di trattamento serve abitazioni isolate;
- sistemi cluster quando il sistema di trattamento serve gruppi abitativi fino a qualche centinaio di abitanti equivalenti.

3.2.1 Sistemi on-site

Tipicamente le opzioni di trattamento on-site più diffuse sono;

- **Latrine a fossa singola (Single pit toilet)** La latrina su fossa semplice è uno dei modi più semplici e ed economici per gestire i rifiuti umani.



Si tratta di una buca scavata nel terreno coperta da una sovrastruttura esterna; le latrine su fossa semplice sono usate nella maggiorparte dei paesi in via di sviluppo. I vantaggi di questa soluzione consistono nel fatto che la progettazione e la costruzione della latrina sono semplici, il costo è basso e può essere costruita anche dalle singole famiglie. Se però vengono male progettate possono causare odori sgradevoli, o la proliferazione di insetti come mosche, zanzare, e scarafaggi. La buca produrrà:

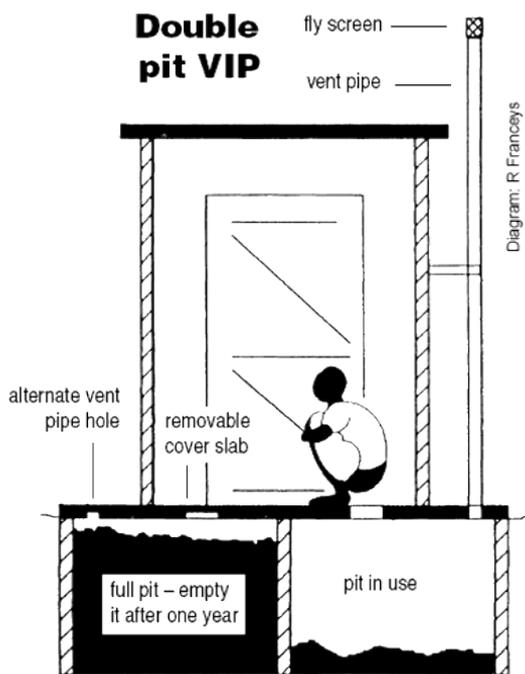
- gas, come anidride carbonica o metano, che verranno dispersi nel suolo e nell'ambiente circostante
- percolato che si infiltrerà nel suolo
- un residuo decomposto e innocuo

Alcuni problemi possono nascere se le infiltrazioni di percolato sono abbondanti perché potrebbero inquinare eventuali falde acquifere, trasmettendo così malattie a chi poi userà quest'acqua; infatti, molto spesso le latrine vengono costruite diversi metri distanti da eventuali pozzi.

Un'altra questione importante per la salute umana è la gestione delle feci fresche, lo svuotamento manuale delle buche potrebbe essere pericoloso quindi si preferisce scavare un'altra buca quando una è piena, e poi quando sarà piena la seconda scavare dove c'era la prima, in modo che il lavoro sia più semplice oltre a essere sicuro dato che i rifiuti umani avranno perso le loro cariche patogene.

- **Latrine a fossa ventilata (VIP) a singola e doppia camera**

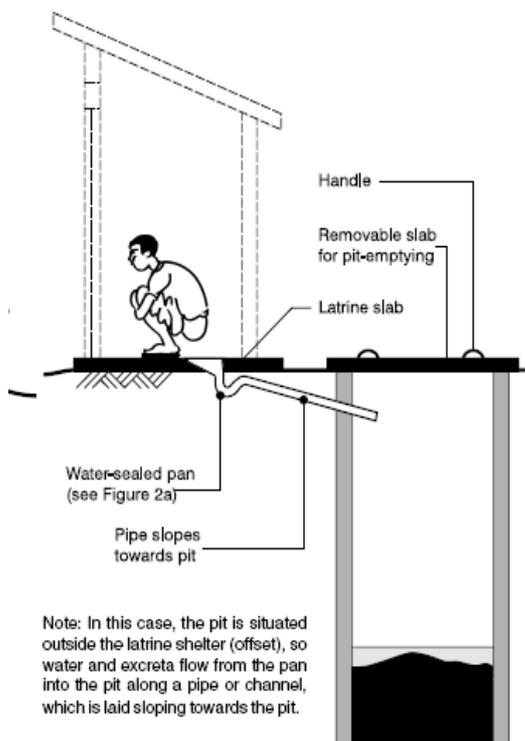
principali problemi che scoraggiano l'uso della latrina su fossa semplice, come le mosche e gli odori, sono ridotti o addirittura eliminati con l'inserimento di un tubo di sfiato verticale con una rete a maglie strette per impedire alle eventuali mosche o zanzare che si creano nella buca di uscire. Le mosche vengono attratte dalla luce che entra dall'estremità del tubo ma non riescono ad uscire, ciò a patto che la latrina sia relativamente buia. Grazie al tubo di sfiato si crea una corrente che allontana gli odori, questo tubo deve essere lungo almeno 50 cm oltre il tetto della sovrastruttura e deve essere posizionato sul lato maggiormente illuminato dal sole così che l'aria riscaldandosi vada verso l'alto ed esca.



Spesso questa latrina viene costruita con due buche così quando una buca è piena si usa l'altra, il tubo di aerazione è in comune in modo che quando una latrina è piena, la si chiude e si può iniziare a usare l'altra senza ulteriori lavori. Di solito le buche sono dimensionate per poter avere una vita di due anni, così che quando verranno rimosse le feci saranno sicure e non infettive.

- Latrine a flusso d'acqua

A differenza delle due latrine precedenti e della compost toilet, la latrina a flusso d'acqua necessita dell'uso di acqua per funzionare correttamente.



I problemi di mosche, zanzare e odori tipici della latrine possono essere risolti con l'aiuto di un setto dove, dopo l'uso della latrina, viene versata dell'acqua.

Questo tipo di latrina è più frequente dove è tradizione usare l'acqua per la pulizia anale; in molte zone dove l'acqua è una risorsa scarsa questa opzione non è attuabile e inoltre bisogna progettare bene la latrina per non avere perdite di liquidi di scarico nel terreno con conseguente inquinamento.

– **Compost toilet.**

La compost toilet è un sistema sanitario che non richiede l'uso di acqua ed è un'ottima soluzione sia dal punto di vista sanitario che da quello ambientale. Questo tipo di latrina sfrutta l'azione di batteri aerobici che riducono il volume dei rifiuti e neutralizzano le cariche patogene dei germi contenuti nelle feci; inoltre in presenza di falde acquifere, o di fiumi è importante fare attenzione che i servizi igienici non contaminino queste risorse che sono vitali e spesso caratterizzate da scarsità. L'obiettivo primario è quello di contenere e distruggere gli agenti patogeni, riducendo così il rischio di infezioni e di inquinamento del terreno e delle colture. Come tutte le opzioni presentate, la compost toilet ha dei vantaggi e degli svantaggi. Alcuni vantaggi sono:

- non richiede l'uso di acqua per sciacquare, risparmiandola così per i bisogni essenziali;
- produce un composto che può essere usato come fertilizzante per il terreno dato che è ricco di nutrienti risparmiando così denaro per l'acquisto di fertilizzanti chimici;
- non richiede lo scavo di buche poiché è costruita sul terreno;
- non deve essere spostata quando è piena poiché viene solo chiusa una camera e usata l'altra;
- il volume dei rifiuti viene ridotto dal 10 al 30 %;
- i fanghi prodotti non richiedono trasporto e inoltre non creano odori, poiché passato circa un anno, i fanghi sono diventati terriccio inodore.

Alcuni svantaggi invece:

- la manutenzione della latrina richiede maggiori conoscenze e responsabilità;
- la rimozione del composto potrebbe essere fastidiosa se la latrina non è ben mantenuta;
- può essere più costosa della su fossa semplice;
- la presenza di troppo liquido nelle feci può rallentare il processo di compostaggio.

Le compost toilet si distinguono tra quelle che dividono le urine dalle feci e quelle che invece non fanno questa divisione.

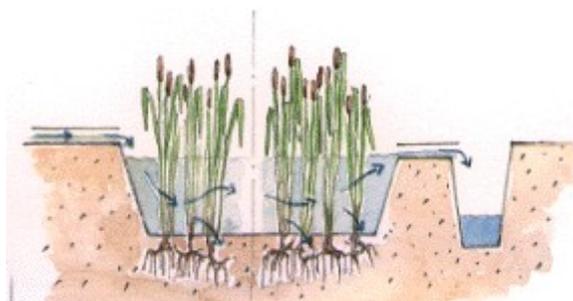
3.2.2 Sistemi cluster

I sistemi cluster sono definiti “semi-centralizzati” in quanto prevedono che i reflui vengano trattati dopo essere stati convogliati ad un sito di trattamento primario (quale ad esempio una fossa settica o Imhoff), senza tuttavia passare attraverso una rete fognaria vera e propria; questo tipo di soluzione permette di trattare i reflui di piccole comunità isolate senza dover affrontare i costi e i rischi connessi al trasporto delle acque nere fino all'impianto di depurazione più vicino, e può servire comunità fino a 5-10000 abitanti equivalenti.

Tra le soluzioni più utilizzate ricordiamo:

- **Sistemi di fitodepurazione a superficie libera (FWS) o a flusso sub-superficiale (SSF), indicate per utenze fino a 500 A. E.**

Dei sistemi SSF si parlerà più diffusamente nel cap. 5; verrà quindi fornita una spiegazione qualitativa circa il funzionamento dei sistemi fitodepurativi FWS. In questo tipo di impianti la funzione di rimozione della sostanza organica e dei nutrienti è, come nei sistemi SSF, svolta da specifiche tipologie di biomasse vegetali immerse in vasche o canali a bassa profondità (0,2-0,4 m); a seconda dei casi le biomasse potranno essere radicate sommerse, radicate emergenti o galleggianti.



Schema di sistema FWS a macrofite radicate emergenti

Le essenze vegetali galleggianti più usate sono tipicamente *Eichornia crassipes* (giacinto d'acqua), *Emnacee* (lenticchie d'acqua), *Trapa* (castagna d'acqua), mentre quelle radicate sono *Phragmites* (canna di palude), *Typha* (mazza sorda), *Scirpus* (giunco di palude). Questo tipo di trattamento offre buoni risultati con i reflui secondari ma ha il problema di richiedere particolari condizioni di terreno (non può essere troppo vicino ai centri abitati per via dello sviluppo critico di zanzare e delle

ampie superfici richieste) e della forte penalizzazione dei rendimenti relativi alla rimozione dei nutrienti nel periodo invernale.

- **Sistemi a fanghi attivi con aerazione estensiva** (indicati per utenze dai 350 A.E: in poi)

In questo tipo di sistemi il processo depurativo è di tipo biologico, e si basa sull'azione di batteri aerobici, che si nutrono della sostanza organica contenuta nei liquami in ingresso. Gli impianti a fanghi attivi sono divisi in una zona di ossidazione, all'interno della quale viene diffusa l'aria necessaria alla sopravvivenza dei batteri, e in una zona di sedimentazione, dove gli aggregati di microrganismi più grandi si separano dal flusso idrico in uscita. E' possibile che questo tipo di impianti vengano utilizzati in combinazione con sistemi di pre o post trattamento (è tipico ad esempio il loro utilizzo a valle di una vasca Imhoff).

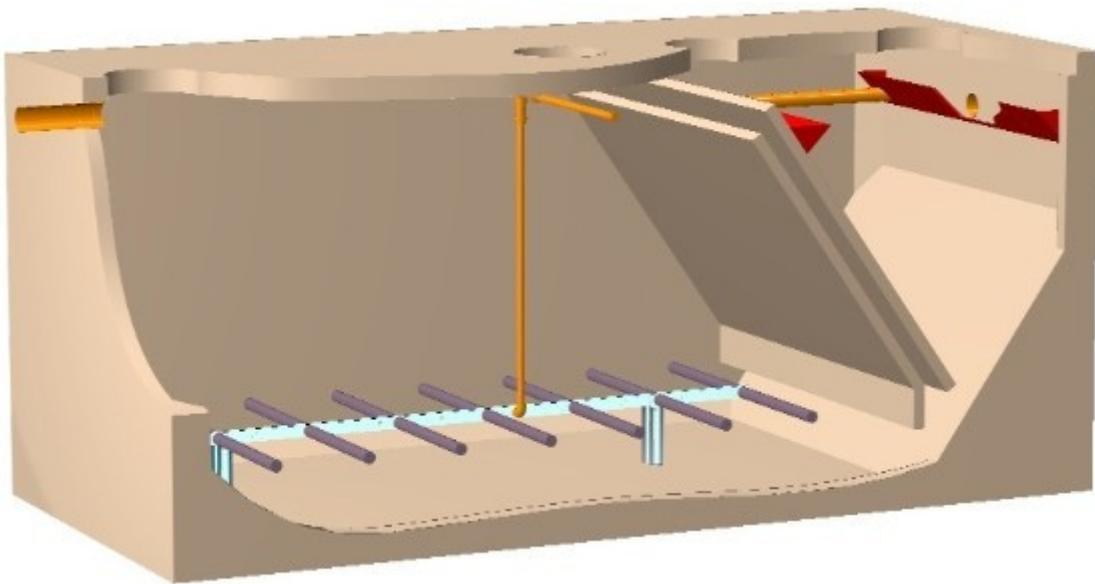
Il meccanismo della vasca di ossidazione è il seguente; i reflui in ingresso (solitamente chiarificati in trattamento primario e mantenuti a portata costante da una pompa opportunamente regolata) vengono mescolati con un'alta concentrazione di fanghi biologici sotto condizioni di costante aerobiosi. In altre parole la miscela fanghi-liquido contiene sempre una concentrazione di ossigeno disciolto sufficiente per garantire lo svolgimento ottimale dei processi depurativi di degradazione operati dai microrganismi. La presenza di una certa quota di ossigeno disciolto insieme alla alta concentrazione di microrganismi mantenuta in questa zona permette la massima velocità di rimozione delle sostanze inquinanti. Queste vengono rimosse dal liquido attraverso vari meccanismi; una parte viene degradata fino a prodotti non inquinanti (anidride carbonica e acqua) e una parte viene trasformata in composti utili alle cellule viventi e inglobata sotto varie forme nella massa solida sedimentabile costituita dai fanghi attivi stessi.

L'aerazione viene garantita per insufflazione di aria compressa attraverso soffianti centrifughe che alimentano appositi diffusori ad alto rendimento fissati sul fondo della vasca, che mediante un sistema Venturi aspira l'aria direttamente dall'atmosfera.

Dalla fase di ossidazione biologica esce una miscela acqua-fango che deve essere inviata a un sedimentatore per separare il liquido ormai privo della maggior parte

delle sostanze organiche dalla massa di fango attivo che deve essere rinvio nella vasca di ossidazione per esplicare la sua azione sul nuovo liquame inquinato.

Tipicamente il sedimentatore si trova contiguo alla vasca di ossidazione e il liquido vi accede provenendo da questa per semplice stramazzo superficiale. Qui la particolare geometria del sedimentatore e le condizioni di quiete del liquido permettono una ottimale separazione delle due fasi. Il liquido chiarificato risale verso il bordo superiore da dove sfiora da una lama di stramazzo, mentre il fango si accumula sul fondo del sedimentatore guidato nella zona di rilievo dalle pareti inclinate con cui è costruita la parte inferiore del sedimentatore.



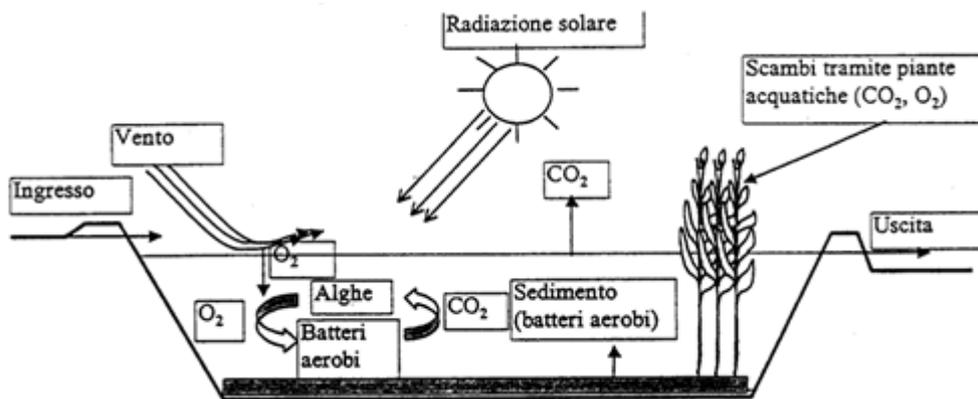
Schema di una vasca di trattamento a fanghi attivi

Questo tipo di impianti è caratterizzato da buoni rendimenti sia a livello di rimozione della biomassa che di SST e nutrienti; tuttavia presenta lo svantaggio di richiedere consistenti consumi energetici per consentire l'insufflazione d'aria per ossigenazione e stoccaggio di fango liquido con periodico trasporto ad installazioni di disidratazione.

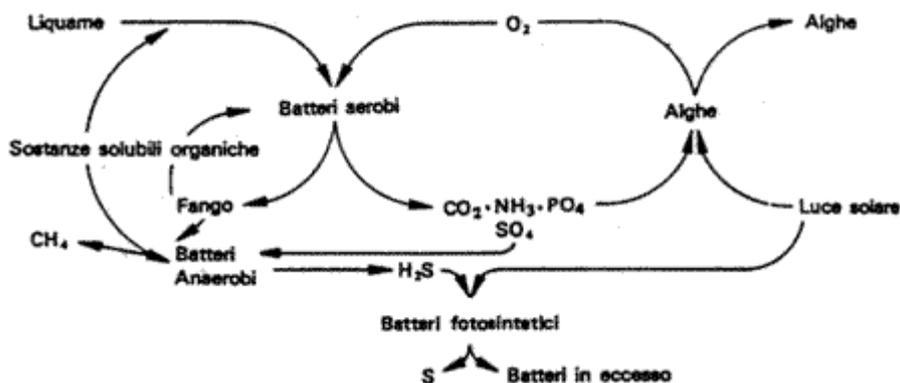
- **Stagni biologici - lagunaggio facoltativo, aerobico, aerato** (indicati per utenze fino a qualche migliaio di A.E.)

I processi di lagunaggio si svolgono all'interno di stagni artificiali o naturali e si basa su processi biologici e biochimici realizzati da alghe, batteri e protozoi. I fenomeni sono gli stessi presenti negli stagni naturali con la sola differenza che negli stagni artificiali i processi di trasformazione sono selezionati e resi più intensi. Le popolazioni naturali solitamente utilizzate sono;

- Batteri saprofiti eterotrofi come *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligen*
- Microalghe quali: *Euglena*, *Clamidomonas* (tipicamente estive), *Oscillatoria*, *Anabaema*, *Anacystis*, *Chlorella* (tipicamente invernali), *Scenedesmus*, *Skeletonema*, *Ankistrodesmus* (presenti in ogni stagione).



Rappresentazione schematica del funzionamento di uno stagno biologico



I bacini possono essere realizzati tramite scavo nel terreno, con eventuale impermeabilizzazione tramite tappeto in argilla, o fogli in materiale plastico termosaldato, nel caso il terreno non sia sufficientemente impermeabile. Il refluo va sottoposto al pretrattamento di grigliatura, ed eventuale disoleatura. Le lagune possono essere classificate, in base ai processi biologici che avvengono all'interno, in:

– *Stagni aerobici-anaerobici, detti anche facoltativi*

Sono i più comuni e maggiormente utilizzati; sulla superficie avvengono processi aerobici, grazie alle alghe verdi che si formano in superficie (tranne in inverno) e, tramite fotosintesi, forniscono agli strati superiori del refluo l'ossigeno necessario all'ossidazione.

Nella zona intermedia e sul fondo (la profondità è solitamente tra 0,7 e 2 m) prevalgono processi di fermentazione anaerobica; sul fondo si depositano i solidi sedimentabili di sostanze decomposte dai batteri anaerobici.

Il ricircolo con miscelazione del liquame entrante con l'effluente depurato migliora le prestazioni del sistema.

– *Stagni anaerobici*

Hanno profondità di 2,5-5 m e lo scambio di ossigeno con l'atmosfera è in essi trascurabile. La sostanza organica immessa subisce un fenomeno di fermentazione ad opera di batteri anaerobici simile a quanto avviene nei depuratori anaerobici non riscaldati.

Oltre ai pretrattamenti citati in precedenza questo tipo di sistema richiede anche una sedimentazione primaria.

– *Stagni aerobici*

Hanno profondità ridotte (25-40 cm) per consentire alla luce solare di penetrare fino al fondo. Le alghe verdi che si sviluppano in tutta la massa acquatica forniscono tramite fotosintesi l'ossigeno necessario al processo aerobico.

Si provveder a ricircolare tramite pompaggio l'accumulo di solidi sedimentabili sul fondo.

4 Tecnologie Appropriate

Le tecnologie appropriate (dal punto di vista sociale, umano, politico, economico, ambientale) sono quelle che:

- Socialmente migliorano le condizioni di vita;
- Economicamente usano in maniera saggia le risorse del pianeta;
- Ecologicamente rispettano gli equilibri e le leggi della natura;
- Garantiscono la migliore gestione ambientale nei paesi in via di sviluppo;
- Non impongono culture, ideologie o tecnologie non adatte allo scenario ambientale e sociale specifico di azione;
- Valorizzano le tradizioni culturali, gli usi, i costumi e le tecnologie dei popoli nativi – (non invasive).

4.1 Cosa è una tecnologia appropriata

Una tecnologia appropriata è una tecnologia, un processo, un'idea, che aumenta la realizzazione dell'uomo attraverso la soddisfazione dei bisogni umani .

Una tecnologia è detta “appropriata” quando è compatibile con i bisogni propri della natura umana, le condizioni culturali , naturali ed economiche locali e utilizza risorse umane, materiali ed energetiche che sono disponibili sul posto , con strumenti e processi controllati e gestiti dalla popolazione locale .

Le Tecnologie appropriate devono essere auto alimentate, e devono assicurare il benessere della popolazione locale.

L'essenza della tecnologia appropriata è che l'utilità o il valore della tecnologia deve essere consolidato dall'ambiente politico, culturale, economico sociale in cui essa viene utilizzata.

4.2 Caratteristiche delle tecnologie appropriate

Debbono avere le caratteristiche necessarie affinché un intervento di sviluppo tecnologico sia sostenibile a livello sociale e ambientale.

Tra queste caratteristiche includiamo:

- facile riproducibilità con le risorse disponibili sul posto;
- forte radicamento nella realtà locale;
- partecipazione delle comunità locali;
- semplicità gestionale;
- piccola scala;
- riduzione impatto ambientale;
- basso costo;

in generale le tecnologie appropriate ci consentono di ***risolvere un problema senza crearne altri.***

Col termine “Tecnologie Appropriate ” si fa di solito riferimento a tecnologie adatte all’applicazione nel PVS (Paesi in Via di Sviluppo) o in aree rurali di paesi industrializzati; qualora utilizzato nel contesto di una società industrializzata può significare un tipo di tecnologia costosa e avanzata, ma in genere è utilizzato per riferirsi a tecnologie a basso costo e semplici nei paesi emergenti.

Il termine si diffuse durante la crisi energetica del 1973 e durante la diffusione del movimento ambientalista degli anni '70 in UK.

4.3 I teorici delle Tecnologia Appropriate

Con **Ernest Fritz Schumacher** , economista inglese amministratore del governo di Londra per le ex colonie d'oriente, le tecnologie appropriate trovano il massimo compimento, raggiungendo maturità sia teorica che pratica. Schumacher, nel suo famosissimo *“Piccolo è bello ”*, individua nella società attuale tre gravi problemi strettamente interagenti:

- La **diminuzione delle scorte mondiali** di combustibili fossili e di tutte le materie prime esauribili;
- L'**inquinamento dell'ambiente naturale** con sostanze ignote alla natura e contro le quali la natura è spesso virtualmente priva di difese;
- Il **comportamento umano quotidiano** sulla via della degradazione, di cui sono sintomo le malattie mentali, la droga, il vandalismo .

Schumacher propone come possibile alternativa l'uso di tecnologie appropriate . Si tratta, cioè, di ritrovare in tutti i campi dell'agire umano una *nuova etica* , una nuova *saggezza* , che dal punto di vista economico significa stabilità. Per Schumacher questa nuova tendenza può riassumersi nel bisogno di metodi e attrezzature che siano abbastanza economiche e praticamente accessibili ad ognuno, siano adatte ad essere applicate su piccola scala (soprattutto a livello locale), siano compatibili con il bisogno di creatività dell'uomo.

Concretamente Schumacher propone di adottare **tecnologie intermedie** fra quelle disponibili a livello estremamente basso e quelle a livello estremamente alto. Ad esempio nel trasporto di carichi, il triciclo fra l'andar a piedi col carico sulle spalle e il costoso camion, oppure la motozappa fra la vanga e il trattore nei lavori dei campi.

Nel 1966, insieme ad alcuni amici, Schumacher fonda **l'Intermediate Technology Development Group (ITDG)**, il Gruppo per lo Sviluppo delle Tecnologie Intermedie. Dopo anni di lavoro nei paesi del Sud della terra, il giorno prima della sua morte, avvenuta nel settembre del 1977, parlando ad una conferenza internazionale in Svizzera, Schumacher espose la sua tesi *“... non solo i paesi in via di sviluppo, ma anche quelli altamente industrializzati devono cominciare a ragionare in termini di tecnologie più in armonia con gli uomini e con l'ambiente e meno legate alle risorse non rinnovabili”*.

4.4 Perché le tecnologie appropriate sono particolarmente adatte ai paesi in via di sviluppo

Prima di illustrare i benefici che l'utilizzo delle T. A. apporta nel contesto dei P.V.S. può essere utile richiamare le definizioni di “sviluppo sostenibile” e di “decrescita”:

Sviluppo Sostenibile

secondo la definizione formulata dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo dell'ONU (World Commission on Environment and Development, WCED);

«lo Sviluppo sostenibile è uno sviluppo che garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri»

Questa dichiarazione sintetizza alcuni aspetti importanti del rapporto tra sviluppo economico, equità sociale, rispetto dell'ambiente.

È la cosiddetta regola dell'equilibrio delle tre "E": Ecologia, Equità, Economia.

Tuttavia la definizione risente di una visione antropocentrica. Al centro della questione non è tanto l'ecosistema, e quindi la sopravvivenza e il benessere di tutte le specie viventi, ma le generazioni umane.

Pertanto vale la pena citare anche la definizione che l'Unesco ha dato nel 2001, ampliata proprio per includere il concetto di biodiversità:

"...la diversità culturale è necessaria per l'umanità quanto la biodiversità per la natura (...) la diversità culturale è una delle radici dello sviluppo inteso non solo come crescita economica, ma anche come un mezzo per condurre una esistenza più soddisfacente sul piano intellettuale, emozionale, morale e spirituale"(Art 1 and 3, Dichiarazione Universale sulla Diversità Culturale, UNESCO, 2001).

In questa visione, la **diversità culturale** diventa il quarto pilastro dello sviluppo sostenibile, accanto al tradizionale equilibrio delle tre E.

Il concetto di “decrescita”

Il termine “decrescita” indica un sistema economico basato su principi differenti da quelli che regolano i sistemi vincolati alla crescita economica.

La decrescita è un concetto politico, secondo il quale lo *SVILUPPO* inteso come crescita economica, ovvero come incremento del Prodotto Interno Lordo (PIL), non è sostenibile per l'ecosistema della terra.

Esistono altre forme di ricchezza sociale, come *la salute degli ecosistemi*, la qualità della giustizia, le buone relazioni tra i componenti di una società, *il grado di uguaglianza*, il carattere democratico delle istituzioni, *la qualità della vita* e così via. In sostanza la crescita della ricchezza materiale misurata esclusivamente secondo indicatori monetari non è indicativa dell'effettivo benessere della popolazione e dello stato di salute dell'ambiente: l'utilizzo delle tecnologie appropriate va quindi visto come un primo passo nella prospettiva di abbracciare un paradigma di sviluppo che tenga conto della molteplicità di aspetti che ne definiscono la trama.

Quando e dove si applicano le Tecnologie Appropriate

Le aree in cui si applicano le Tecnologie Appropriate sono principalmente quelle riguardanti i servizi alle comunità: *salute, acqua, sanità, educazione, infrastrutture*. Le TA cercano di incentivare il mercato locale e di sostituire i beni importati con prodotti locali competitivi come qualità e costo, e possono essere usate per raggiungere uno sviluppo bilanciato nei paesi poveri.

Inoltre devono essere compatibili con i desideri, la cultura, e la tradizione delle particolari comunità e non devono avere un effetto sociale distruttivo.

Uno dei motivi per cui i Paesi in via di Sviluppo (PVS) necessitano di TA è la loro particolare condizione socio-economico.

I PVS infatti sono caratterizzati per lo più da una **popolazione contadina e rurale**, da infrastrutture carenti ed inadeguate, da strutture sanitarie insufficienti e spesso da una carenza cronica di risorse naturali ed economiche.

Il “**trasferimento** ” di tecnologie nei PVS deve tener presente le seguenti caratteristiche predominanti nel particolare ambito di azione:

- Prevalenza di una economia duale (*urbana e rurale*) con stili di vita differenti e spesso in conflitto e una propensione alla migrazione in entrambi i sensi (dovuta a

- periodi alternati di possibilità di lavoro e disoccupazione);
- L'alto tasso di crescita della popolazione;
 - L'importanza, per la ricerca e l'esecuzione della strategia che può alleviare questi problemi, della presa di coscienza dell'iniquità (ingiustizia sociale ed economica) e del fatto che le comunità stesse possono cambiare.

Progettazione delle Tecnologie Appropriate

L'applicazione della TA comprende, come già detto, i settori legati ai servizi che, sia le famiglie sia le comunità, necessitano per una vita confortevole, sana e dignitosa.

La fase di progettazione richiede non solo l'**analisi strutturale, tecnica**, ma nel caso specifico delle TA, anche l'**analisi economica e sociale**.

Queste analisi necessitano di una raccolta di dati ed esperienze, e di una ricerca approfondita anche sul campo per evitare di riscontrare situazioni reali diverse da quelle definite nell'attività di planning e quindi per evitare particolari ostacoli all'implementazione del progetto.

A volte anche con una ricerca sul campo c'è spesso il pericolo di incontrare, nel particolare paese in cui si va ad operare, una situazione inaspettata; per questo l'approccio al progetto deve essere quanto più flessibile possibile.

4.5 Tecnologie appropriate e trattamento dei reflui; Sustainable Sanitation

L'obiettivo principale di un sistema di igienizzazione è di proteggere la salute umana offrendo un ambiente pulito e interrompendo il ciclo di trasmissione delle malattie. Per essere sostenibile, un sistema di igienizzazione dev'essere non solo economicamente fattibile, accettabile socialmente, e appropriato dal punto di vista tecnico ed istituzionale, ma dovrebbe anche proteggere l'ambiente e le risorse naturali.

Quando si provvede a migliorare un sistema di igienizzazione esistente o a progettarne uno nuovo, si dovrebbe tener conto dei criteri di sostenibilità in relazione ai seguenti aspetti;

- **Salute ed igiene;** include il rischio di esposizione ai patogeni e altre sostanze pericolose che potrebbero colpire la salute pubblica lungo tutte le fasi del trattamento, dalla raccolta allo stoccaggio al riutilizzo. Questo argomento include anche aspetti quali l'igiene personale, la dieta e il miglioramento della qualità della vita ottenuti dall'utilizzo di un certo sistema di igienizzazione.
- **Ambiente e risorse naturali;** riguarda l'energia, l'acqua e le altre risorse naturali richieste per la costruzione, messa in opera e manutenzione del sistema scelto, così come le potenziali emissioni inquinanti derivanti dal suo utilizzo. Include anche il grado di riutilizzo e riciclo praticato e gli effetti di tale riutilizzo, nonché la protezione di altre risorse non rinnovabili.
- **Tecnologia e messa in opera;** include la funzionalità e la facilità con cui l'intero sistema (incluse le fasi di raccolta, trasporto, trattamento e riutilizzo) può essere costruito, gestito e monitorato dalla comunità locale e/o dalle squadre di tecnici del posto. Sono aspetti importanti anche la solidità del sistema, la sua vulnerabilità rispetto alla disponibilità di energia e di acqua o alle calamità naturali, la flessibilità e l'adattabilità dei suoi elementi tecnici alle infrastrutture esistenti e agli sviluppi socio-economici.
- **Aspetti economici e finanziari;** sono legati alla capacità di famiglie e comunità di pagare per i sistemi di igienizzazione, includendo i costi di costruzione, messa in opera e manutenzione. Oltre alla valutazione di questi costi diretti bisogna tener conto anche dei benefici derivanti dall'utilizzo di prodotti riciclati, nonché di costi esterni quali inquinamento e rischi per la salute e benefici esterni quali miglior produttività agricola e creazione di posti di lavoro.
- **Aspetti socio-culturali ed istituzionali;** i criteri di questa categoria si riferiscono all'accettazione socio-culturale e all'appropriatezza del sistema scelto, la convenienza, la percezione del sistema e il suo impatto sulla dignità umana, al contributo alla sicurezza del cibo, al rispetto del quadro legislativo e a rapporti istituzionali stabili ed efficienti.

5 Primo esempio applicativo, impianto di fitodepurazione SSFH a Lugo di Baiso, RE

5.1 Note introduttive e legenda

Prima di analizzare i risultati ottenuti dallo studio di due applicazioni di T.A realizzate in contesti diversi può essere utile introdurre alcuni parametri utilizzati nella valutazione della resa degli impianti. Una piccola legenda;

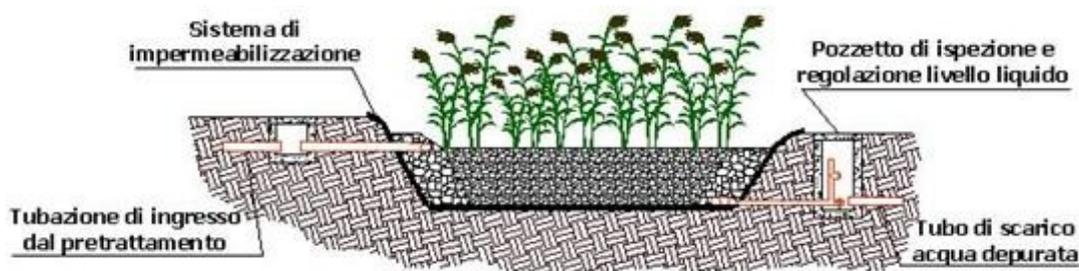
<p>Abitanti Equivalenti</p>	<p>È un numero che esprime in modo convenzionale il quantitativo di carico organico sversato da un insediamento produttivo o trattato presso un impianto di depurazione.</p> <p>Viene calcolato dividendo il carico inquinante (kg/giorno di COD o) per l'apporto medio procapite di COD (o BOD_5) (COD = 118 gr/ab/d; BOD_5 =60 gr/ab/d).</p> <p>Si intende per A.E. potenziale il dato di progetto caratterizzante la capacità depurativa dell'impianto. L'A.E. trattato (o servito) è invece quello calcolato attraverso il rapporto:</p> $(kgCOD/dingresso)/0,118$
<p>Portata media al biologico</p>	<p>Rappresenta la media aritmetica annuale della portata in ingresso all'impianto (m^3 /giorno).</p>
<p>Carico organico inquinante</p>	<p>Corrisponde ai kg di COD che mediamente pervengono all'impianto:</p> $[COD(mg/l)*Q(m^3/d)]/1000=kgCOD/d$ <p>Analogamente si può calcolare il carico totale di BOD_5, ST, N e P.</p>
<p>Abbattimento % parametri</p>	<p>Il valore riportato nella scheda dati tecnici rappresenta la media aritmetica di tutti gli abbattimenti calcolati nell'anno. Es.;</p> $[(CODin - CODout)/CODin]*100$

5.2 Dimensionamento di un impianto

5.2.1 Generalità sulla fitodepurazione

I sistemi di fitodepurazione con macrofite hanno trovato applicazione negli anni '80 negli Stati Uniti, e successivamente si sono diffusi con successo anche in Europa.

Il loro funzionamento consente l'abbattimento di MST tramite processi fisici come la sedimentazione e la filtrazione; l'intero processo di filtrazione è a carico dei vuoti interstiziali tra i grani del medium. In questa zona le particelle o depositano in microzone o si separano dal flusso liquido per via delle basse velocità a cui esso è costretto.



Schema di un impianto a macrofite radicate SSFH

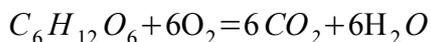
5.2.2 Funzionamento di un impianto SSF – processi fisici e chimici

Il sistema stesso produce biomassa sospesa che innalza il valore effettivo di SST (Solidi Sospesi Totali). La riduzione di SST avviene nella zona iniziale del bacino, per questo motivo vengono introdotti stagni in testa alle vasche in cui le particelle più pesanti hanno la possibilità di decantare; il deposito di particelle solide nel medium può dare luogo all'intasamento del letto, con conseguente scorrimento superficiale del liquame. La frazione biodegradabile sedimentabile del BOD viene rimossa analogamente ai SST. Le frazioni colloidale e disciolta vengono invece abbattute dall'attività di microrganismi.

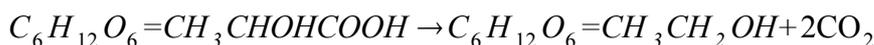
Il contenuto in carbonio delle macrofite utilizzate viene stimato nell'ordine del 40 % del

peso secco. Il ciclo di crescita, morte e parziale decomposizione si basa sull'utilizzo di sostanze a base di C e produce gas, sostanze organiche disciolte e solidi.

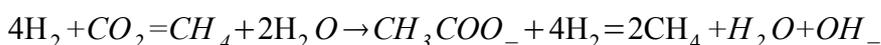
Respirazione (aerobica);



Fermentazione (anerobica):



Metanogenesi (anaerobica)



Denitrificazione



Le specie chimiche dell'azoto sono bilanciate secondo fenomeni di :

- Decomposizione biomassa, 15-35 gN/mq/anno
- Assorbimento NH_3 , fino a 20 gN/mq
- Ammonificazione da N organico a NH_4
- Nitrificazione da NH_4 a NO_3
- Denitrificazione da NO_3 a N_2
- Fissaggio da N_2 a N organico;
- Assimilazione (sintesi) da NH_4 o NO_3 a N organico.

La nitrificazione nelle vasche di fitodepurazione avviene lontano dalla zona di immissione, dove l'ossigeno è utilizzato per l'abbattimento del BOD_5 . I batteri nitrificanti si trovano infatti a competere in anaerobiosi con i più veloci batteri eterotrofi demolitori di BOD. In vasche di fitodepurazione è stata osservata la presenza di denitrificazione anche con valori positivi di ossigeno, poiché nei vari livelli di un fitodepuratore si susseguono strati aerobici (a ridosso delle radici), anossici (nel biofilm batterico), e infine anaerobici nelle zone del terreno sommerso dal refluo. Alcune

sperimentazioni riportano che la riduzione dei nitrati in fitodepurazione si per il 60-70% dovuta a denitrificazione.

Su molti impianti sperimentali la rimozione del fosforo non si è rivelata molto significativa; il fosforo, elemento indispensabile per la crescita e la moltiplicazione delle cellule batteriche e vegetali, viene assimilato durante lo sviluppo. Occorre però provvedere all'allontanamento delle biomasse prima della loro decomposizione, altrimenti la quantità di fosforo rimosso verrebbe periodicamente restituita con un vero e proprio ciclo conservativo.

Parametri indicativi di funzionamento per sistemi di fitodepurazione

Parametro	Unità di misura	SSF
Tempo ritenzione	d	4-15
Area pro capite	mq/AE	3-7
Carico di BOD_5	kg/ha/d	20-120
Carico idraulico	mc/mq/d	0,014-0,046
Quota d'acqua	m	0,3-0,8

5.2.3 Schema progettuale e dimensionamento di massima impianto SSF-h

Come già visto in precedenza, la tecnica è applicabile come trattamento appropriato fino a 500 AE e alla depurazione in situ presso nuclei abitativi isolati.

Questo tipo di soluzione necessita di pre trattamento di chiarificazione del liquame, realizzato solitamente con vasca Imhoff (di cui viene trattato il dimensionamento nei paragrafi successivi).

- **Medium di riempimento** La porosità del mezzo non deve essere troppo bassa per evitare l'intasamento, in quanto il livello idrico non deve raggiungere la superficie del mezzo. Il mezzo di riempimento funge inoltre da base di attacco per le radici delle piante e i biofilm di batteri, funghi, protozoi e metazoi. Esso agisce anche come filtrante meccanico nei confronti dei solidi sospesi.

- **Tipologia di piante** Le essenze più utilizzate sono Typha, Phragmites, Scirpus; l'uso di Phragmites è estremamente diffuso in Europa e anche negli Usa, per la minor necessità di manutenzione e perché non costituiscono alimento per ratti e nutrie. Le macrofite radicate emergenti presentano buona capacità di trasferimento dell'ossigeno dalle parti aeree alle parti sommerse, l'ossigeno atmosferico viene assorbito dalle foglie e dagli steli e rilasciato a livello della rizosfera creando microzone aerobiche. E' stato stimato che le macrofite possano trasferire da 5 a 45 g di ossigeno per giorno per metro quadrato di superficie umida a seconda della densità delle piante, della richiesta di ossigeno da parte da parte del suolo saturo e delle caratteristiche di permeabilità delle radici
- **Efficienza** Nei sistemi SSF l'efficienza depurativa si mantiene abbastanza costante durante tutto l'anno in quanto i processi depurativi avvengono soprattutto a livello dell'apparato radicale che, essendo sommerso, risente poco delle variazioni climatiche esterne ed è attivo anche nei mesi più freddi. L'assorbimento di nutrienti, in particolare fosforo ed azoto, da parte di questo tipo di vegetali è ridotto rispetto alla quantità che viene rimossa attraverso i processi biochimici che si svolgono nella rizosfera: questo permette di evitare la rimozione continua della biomassa vegetale prodotta che tuttavia è comunque bene rimuovere con tempistiche utili a favorire i cicli vegetativi.
- **Caratteristiche del letto** E' di solito utilizzata una dotazione di terreno pari a 3-5 mq/AE; per la profondità, il valore assunto come profondità per le Phragmites è di 60 cm. Per garantire l'omogeneità dimensionale del medium si impone:

$$G = \frac{D_{60}}{D_{10}} \leq 5 ; \text{ altri autori suggeriscono la più restrittiva } G \leq 3 .$$

Legenda: G= coefficiente di uniformità della miscela; D_{60} =diametro associato al 60% di miscela passante; D_{10} = diametro associato al 10% di miscela passante con $D_{10} \geq 0,2 \text{ mm}$. Per i flussi orizzontali le granulometrie standard sono: 3-6 mm, 5-10 mm, 6-12 mm, 13-76 mm (Crites 1994).

- **Cinetiche di rimozione e dimensionamento di massima** Utilizzando lo schema di reattore con flusso a pistone plug flow e cinetica di reazione del primo ordine allo stato stazionario imponendo le condizioni iniziali e al contorno (vedere capitolo primo), esprimiamo la concentrazione C_A in funzione del tempo nelle diverse sezioni del reattore come $C_A(t_c) = C_{[A_0]} e^{-kt_c}$; la concentrazione decresce quindi lungo il reattore con legge esponenziale. Se operiamo il dimensionamento dell'area superficiale sul BOD usando

$$\frac{BOD_e}{BOD_i} = e^{[-K_T * t_c]}, \text{ con } BOD_e = \text{BOD5 effluente, } BOD_i = \text{BOD5 influente (mg/l),}$$

$K_T = \text{costante cinetica (d}^{-1}\text{)}, t_c = \text{tempo di ritenzione (d)}.$

Il volume disponibile per il liquame è costituito dai vuoti del medium:

$V_v = n * V_{tot} = n * d * A_s$, con $A_s = L * W = \text{superficie del bacino (mq)}$; $n = \text{porosità medium}$; $d = \text{altezza medium (m)}$. Ipotizzando che la quota del liquame non superi il 95% dell'altezza del medium, il volume bagnato sarà pari a:

$$V_B = 0,95 V_v = 0,95 * n * d * A_s, \text{ da cui:}$$

$$t_c = \frac{V_B}{Q} = \frac{0,95 * n * d * A_s}{Q} = \frac{0,95 * n * d * L * W}{Q} \text{ e per sostituzione;}$$

$$\frac{BOD_e}{BOD_i} = e^{\left[\frac{-K_T * 0,95 * n * d * A_s}{Q} \right]} \text{ quindi;}$$

$$\ln \frac{BOD_e}{BOD_i} = \frac{-K_T * 0,95 * n * d * A_s}{Q} \rightarrow \frac{K_T * 0,95 * n * d * A_s}{Q} = (\ln BOD_i - \ln BOD_e)$$

$$\text{e infine } A_s = \frac{-(\ln BOD_i - \ln BOD_e) * Q}{0,95 * n * d * K_T}$$

	$K_T(d^{-1})$	$k_{20}(d^{-1})$	θ
E.P.A. (1993)	$K_T = k_{20} * \theta^{[T-20]}$	1,104	1,06
Reed (1998)	$K_T = k_{20} * \theta^{[T-20]}$	$k_{20} = 37,3 * K_0 * n * 4$ $K_0 = 1,839 * d^{-1}$ reflui urbani $K_0 = 0,198 * d^{-1}$ reflui alto COD	1,1
WPCF (1990)	$K_T = k_{20} * \theta^{[T-20]}$	0,806	1,06

Costanti di rimozione a 20°C e coefficienti di temperatura per sistemi SFS

- **Valutazione delle portate** Per valutare le portate medie e di punta (con il relativo coefficiente di punta c_p), tenuto conto del fatto che trattiamo fognature nere, useremo la

$$Q_{max} = c_p * Q_{med}$$

$$Q_{med} = A * C_m * AE \text{ dove}$$

$$Q_{max} = \text{portata massima}$$

$$Q_{med} = \text{portata media}$$

$$c_p = \text{coefficiente di punta}$$

$$A = \text{coefficiente che tiene conto dell'evapotraspirazione}$$

$$C_m = \text{dotazione idrica giornaliera pro capite}$$

Per il calcolo del coefficiente di punta c_p relativo a portate nere possiamo estrapolare un valore mediato tra due criteri tratti dalla letteratura;

$$a) c_p = 15,85 * C_m * e^{-0,167}, \text{ Masotti 1996}$$

$$b) c_p = 3, \text{ Uida}$$

Si assumerà quindi un valore intermedio pari a circa 5.

- **Regime Idraulico** Il regime idraulico dei sistemi subsuperficiali a flusso orizzontale (SSF-H) può essere definito dalla legge di Darcy riferita a falda freatica. La condizione al contorno viene data, tramite il pozzetto di regolazione, sull'altezza finale del pelo libero.

La superficie superiore del letto sarà perfettamente orizzontale mentre la pendenza al fondo assume valori generalmente pari all'1% verso valle.

Si ricorda che perché sia valida la legge di Darcy devono essere verificate le ipotesi di flusso laminare, portata costante e perfetta omogeneità del mezzo poroso.

Nella realtà tali condizioni non sussistono ma si ritiene comunque accettabile l'uso di tale equazione.

Il flusso dipenderà dalla conducibilità idraulica del medium e dal gradiente idraulico del sistema secondo

$Q = K_s * A_t * S$ dove K_s è la conducibilità idraulica, A_t l'area trasversale e

$S = \frac{H_f - H_i}{L}$ il gradiente idraulico (H_f e H_i rappresentano l'altezza d'acqua a fine ed inizio vasca mentre L la lunghezza della stessa).

Da questa formula è possibile ricavare l'area trasversale della vasca; nota questa grandezza, e ricordando che avevamo imposto per l'altezza d della vasca il valore di 0,7m, possiamo trovare il valore della larghezza W e della lunghezza L;

$$A_T = \frac{Q_{max}}{K_s * S}$$

$$L = \frac{V}{A_t}$$

$$W_{min} = \frac{A_t}{d}$$

Per calcolare invece le altezze di inizio e fine vasca si risolve un sistema di due equazioni in due incognite;

$$\frac{H_{fv} + H_{iv}}{2} = h_m$$

$$\frac{H_{fv} - H_{iv}}{L} = i_f = 0,01$$

L'altezza media e la pendenza sono imposte; la lunghezza della vasca è stata calcolata in precedenza quindi il sistema è risolvibile in pochi passaggi.

Per completare il dimensionamento è possibile scrivere l'equazione di Darcy in forma esplicita e trovare così l'altezza iniziale e finale del pelo libero. Imponiamo empiricamente come condizione al contorno che l'altezza finale sia pari a $H_f = H_{fv} - 10 \text{ cm}$, e possiamo così risolvere l'equazione;

$$H_i^2 = H_f^2 - \frac{2 * Q * L}{K_s * W}$$

- **Rendimenti attesi a Regime** Si riportano sinteticamente i valori attesi per il rendimento dei sistemi SSF-H una volta entrati a regime rispetto ai principali parametri;

	T=6°C	T=14°C	T=20°C
BOD	90%	98%	99%
N-NH3		47%	57%
SST	89%	89%	89%
P totale	42%	42%	42%
Coliformi fecali	99%	99,9 %	99,9 %

- **Le Macrofite; descrizione e funzionamento** Nei sistemi SSF il processo di depurazione dei reflui legato all'attività delle macrofite avviene a livello del sistema radicale che, affondato nel terreno, è direttamente a contatto con il refluo promuovendo principalmente i processi di abbattimento di BOD e SST.

L'impianto radicale è formato da una serie di radici dette principali da cui parte un secondo impianto radicale secondario seguito da un terziario, tale da formare un apparato che si espande in tutte le direzioni e assicura alla pianta un'esplorazione capillare del terreno per soddisfare le sue esigenze nutritive e ancorarsi al suolo. Le radici sono ricoperte in sommità da una cuffia radicale che le protegge e trattiene l'acqua all'interno. Essa è intervallata a zone permeabili da dove cominciano ad estendersi i peli radicali anch'essi permeabili. Lo scambio di sostanze con il terreno avviene in questa zona.

Il terreno attorno all'impianto radicale viene detto Rizosfera e diviene nel tempo un habitat naturale per lo sviluppo di popolazioni microbiche e batteriche. Le radici assorbono tramite i peli radicali delle soluzioni dette soluti inorganici, rilasciando contemporaneamente acidi organici (composti del carbonio), fondamentali per l'attività biologica. Altri composti organici rilasciati dalle radici nella rizosfera sono gli zuccheri.

Nella rizosfera confluiscono con i reflui anche buone concentrazioni di fosforo, che però nella forma in cui è disponibile in tale contesto risulta poco assimilabile. Le piante attuano una serie di reazioni per facilitarne l'estrazione;

- formazione di micorizie
- variazione dello sviluppo delle radici
- acidificazione della rizosfera
- essudazione degli acidi organici.

L'azoto, anch'esso presente nei reflui, è un altro importante nutriente per la pianta; i nitrati e i nitriti vengono da essa ridotti in ammonio tramite reazioni enzimatiche per poter essere assimilati. A questa fase, propria della pianta, si somma l'azione dei batteri che tramite la nitrificazione trasformano l'azoto ammoniacale in ossidi di azoto quali nitriti e nitrati che a loro volta vengono decomposti in azoto gassoso tramite la denitrificazione.

I batteri vengono attirati dal rilascio di zuccheri e dall'apporto di ossigeno attraverso il sistema vascolare delle piante, ma soprattutto della presenza di una proteina a cui essi si legano e che ne può garantire la sopravvivenza; la lectina.

La pianta più diffusa in questo genere di applicazioni, perchè molto efficace nel trasporto di ossigeno e per la capacità di crescere anche in ambienti molto profondi incrementandovi la degradazione anaerobica, è la *Phragmites Australis*.

Le sue radici penetrano fino a 0,7m ed hanno la particolarità di non essere gradite né alle nutrie né ai ratti. Inoltre la *Phragmites* richiede una manutenzione minima in quanto, essendo ridotto l'assorbimento di azoto e fosforo rispetto alla quantità che viene rimossa dai microrganismi, non si rende necessaria la rimozione della massa vegetale prodotta se non su periodi molto lunghi.

E' una macrofita radicata emergente ed ha un'alta capacità di trasferimento

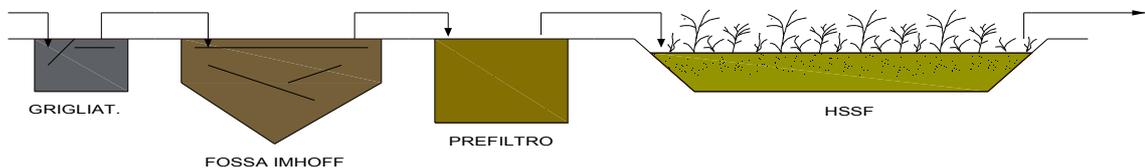
dell'ossigeno dalle parti aeree alle parti sommerse.

La quantità di ossigeno varia dai 5 ai 45 gr/giorno*mq a seconda della densità delle piante, della richiesta di ossigeno da parte del suolo saturo e delle caratteristiche di permeabilità delle radici. Si vengono a creare nel medium anaerobico delle microzone aerobiche, indispensabili per innescare i processi che portano alla rimozione degli inquinanti attorno alle radici.

Il fatto che le radici siano l'epicentro dei processi depurativi consente una performance depurativa pressochè indifferente alle variazioni climatiche; questa caratteristica, assieme al fatto di essere refrattaria alla proliferazione di ratti e nutrie, rende la *Phragmites* la soluzione preferita per gli impianti.

5.3 Struttura dell'impianto

L'impianto di Lugo di Baiso si basa su un sistema di fitodepurazione a macrofite radicate secondo lo schema di flusso sub-superficiale orizzontale (SSFH – Sub Surface Flow Horizontal); trattandosi di un impianto secondario, esso è posto a valle di una griglia e di una vasca Imhoff dove avviene una chiarificazione del liquame e una prima digestione dei fanghi.

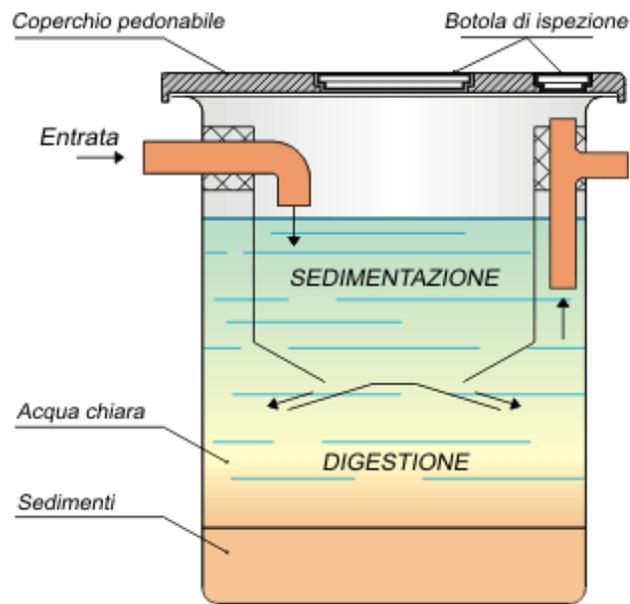


5.3.1 Griglia

E' posta a monte della vasca Imhoff ed ha il compito di separare il materiale più grossolano prima che esso possa intasare l'impianto.

5.3.2 Vasca Imhoff

La fossa (o vasca) Imhoff consente la decantazione dei solidi sedimentabili e la digestione anaerobica fredda dei fanghi in due scomparti sovrapposti, fisicamente separati, posti tra loro in comunicazione da aperture per il passaggio dei sedimenti allo scomparto inferiore e la risalita dei surnatanti di digestione allo scomparto superiore.



Schema funzionale vasca Imhoff



Il gas di digestione viene convogliato verso sfiati, senza interferire con il processo di sedimentazione. La separazione in due scomparti consente di mantenere bassi tempi di permanenza del liquame, limitando l'instaurarsi di condizioni settiche nell'effluente. La digestione avviene a temperatura ambiente.

Per quanto riguarda le modalità progettuali, è fondamentale che le fosse Imhoff siano perfettamente a tenuta per proteggere da percolamenti il terreno ed eventuali falde poiché sono completamente interrate; inoltre il dimensionamento dei compartimenti interni deve essere tale da consentire un'adeguata raccolta dei fanghi nel comparto sottostante, così come un'uscita (e un'entrata) continua del liquame chiarificato nel comparto superiore.

Come valori progettuali medi per il comparto di sedimentazione si assumono circa 40-50 l per utente; per il compartimento del fango si calcolano invece 100-120 l pro capite (in caso di almeno un paio di estrazioni l'anno).

Potenzialità	50 – 250 Abitanti Equivalenti
Comparto di sedimentazione;	
Tempo di residenza (su Q24)	6 ore
Volume unitario	40 l/ab
Volume totale	>3000 l
Comparto di digestione;	
Volume unitario	90 l/ab

Può essere rimosso solo materiale decantabile, con abbattimenti di BOD e COD del 30% e di solidi sospesi del 50%; la rimozione di nutrienti è invece trascurabile. La rimozione dei fanghi avviene da una a quattro volte l'anno a seconda della quantità di liquami in ingresso.

5.3.3 Prefiltro

Nell'impianto di Lugo a valle della fossa Imhoff è stato installato un prefiltro a labirinto dove il flusso dei liquami in ingresso viene ulteriormente rallentato consentendo la sedimentazione del materiale più grossolano.

5.3.4 Le 3 vasche in parallelo

Dalla visita all'impianto appare evidente la costruzione della terza vasca in epoca successiva; infatti quest'ultima oltre ad essere dimensionalmente più importante, ad un primo impatto visivo si presenta come quella più densamente “popolata” dalla *Phragmites* e più “in salute” rispetto alle altre.



Vasca numero 3, oggi

Questa situazione si spiega in base ad alcune informazioni fornite direttamente da chi gestisce l'impianto. Innanzitutto la vasca è stata popolata direttamente con piante già mature e non con rizomi (tecnica usata invece per le vasche 1 e 2), evitando quindi la fase di crescita delle piante durante la quale oltre a non essere significativa la performance depurativa si ha una maggiore vulnerabilità da parte della *phragmites*; inoltre ha risentito in misura minore dei fenomeni di intasamento del medium iniziale rispetto alle vasche costruite inizialmente.

Un'altra constatazione interessante riguarda inoltre la vasca 1, che si presenta quasi del tutto priva di vegetazione ed attualmente svolge una funzione depurativa paragonabile a quella di un filtro a sabbia;



Vasca numero 1, oggi

da notare come l'inizio della vasca sia parzialmente sommerso dal refluo, sintomo di intasamento del medium. Questa situazione è parzialmente spiegata da una recente operazione di disinfestazione che ha però comportato l'eliminazione di gran parte della biomassa attiva insieme a quella infestante, e da una precedente operazione di allagamento della vasca sempre a scopo disinfestante; lo stato attuale di funzionamento ridotto di questa parte dell'impianto fornisce un'importante chiave di lettura per l'analisi dei rendimenti che andremo in seguito a valutare.

La particolare situazione di assenza di vegetazione permette in compenso di notare i tubi sporgenti nel letto grazie ai quali è possibile compiere rilievi sul grado di riempimento del medium.

Nella vasca numero 2 è possibile ravvisare lo stesso parziale intasamento ma la popolazione di *Phragmites* appare in condizioni decisamente migliori;



Vasca numero 2, oggi

5.4 Dati di progetto

L'impianto di Lugo di Baiso è ubicato in zona collinare nel bacino del fiume Secchia. La tipologia impiantistica adottata è quella a flusso sub-superficiale orizzontale (SSFH) con macrofite radicate emergenti. L'impianto era stato originariamente progettato in via sperimentale nel 1993 considerando una stima di utenza pari a 50 A.E; sulla base di tale stima furono costruite 2 vasche SSFH in parallelo, ma alla fine del 1997 considerate le condizioni di lavoro effettive di sovraccarico idraulico ed organico si è proceduto all'ampliamento dell'impianto attraverso la realizzazione di una terza vasca, costruita ancora in parallelo alle precedenti. I dati tecnici reali medi di funzionamento dell'impianto nella sua struttura attuale sono quindi i seguenti;

- **Abitanti equivalenti:** 100
- **Portata idraulica:** $36 \text{ m}^3/d$
- **Carico organico:** $6,4 \text{ Kg } BOD_5/d$

Lo schema di flusso dell'impianto risulta essere quindi il seguente;

- Vasca Imhoff (dimensionata come visto in precedenza, preesistente)
- Scaricatore di piena secondario
- Pozzetti di ripartizione alla tre vasche SSFH
- 3 Vasche SSF poste in parallelo
- pozzetto di raccolta finale delle acque trattate.

Il dimensionamento dei bacini SSFH è stato effettuato ipotizzando un funzionamento di tipo plug-flow con cinetica di rimozione del BOD_5 del 1° ordine (Reed et al., 1988); la superficie specifica risulta rispettivamente di $2,4 \text{ m}^2 / \text{a.e}$ per la vasca 1, $1,6 \text{ m}^2 / \text{a.e}$ per la vasca 2 e $3 \text{ m}^2 / \text{a.e}$ per la vasca 3 (costruita a posteriori).

Il medium di riempimento utilizzato, proveniente da frantoi della zona, è costituito da miscele di materiale inerte lavato di piccola pezzatura: 2-10 mm per la vasca 1 e 4-10 mm per le vasche 2 e 3. La porosità del materiale inerte risulta attorno 50%.

Nelle tre vasche il rapporto lunghezza/larghezza è pari a 2 (la vasca 1 ha dimensioni minime 10x5 m, la vasca 2 8x4 m, la vasca 3 15x7,5 m); l'altezza media del mezzo di riempimento è 0,8 m.

Le vasche sono state impermeabilizzate con un manto di HDPE di 2mm di spessore protetto da tessuto non tessuto sia superiormente che inferiormente.

Nelle zone di ingresso e di uscita vi è uno strato di 1m di larghezza costituito da materiale inerte di granulometria grossolana avente funzione di area di distribuzione e raccolta dei flussi.

L'alimentazione avviene tramite canalette superficiali (vasche 1 e 2) o tubazione forate poste all'interno dello strato inerte grossolano (vasca 3); tali sistemi di distribuzione sono posti trasversalmente alle vasche, mentre il liquame depurato viene raccolto da tubazioni forate poste trasversalmente sul fondo delle vasche nella parte terminale. Lungo il profilo longitudinale sono posti pozzetti per il controllo dei parametri idraulici e chimici.

La macrofita impiegata è la cannuccia di palude (*Phragmites Australis*) che si trova abbondantemente in loco. La messa a dimora della *Phragmites Australis* è stata effettuata nelle vasche 1 e 2 nel novembre 1993 attraverso la posa di 4-5 rizomi per metro quadrato ad una profondità di 20-30 cm dalla superficie del medium di crescita. Nella vasca 3 si è invece proceduto alla messa a dimora di piantine di *Phragmites* a radice nuda nel marzo 1998.

SCHEDA DATI TECNICI					
Parametri di processo		Valori di progetto	Valori medi		
			2008	2007	2006
Abitanti Equivalenti	A.E.	100	90	160	147
Portata media al biologico	m^3/d	20	25	39	39
Carico organico	Kg COD/d	9	10,58	18,85	17,38
Carico Solidi sospesi	Kg MST/d	6	2,28	5,71	5,58
Carico BOD	Kg BOD/d	4	5,38	10,29	10,39
Carico Azoto	Kg Azoto/d	1,2	2,05	3,35	2,98
Carico Fosforo	Kg Fosforo/d	0,2	0,17	0,29	0,27

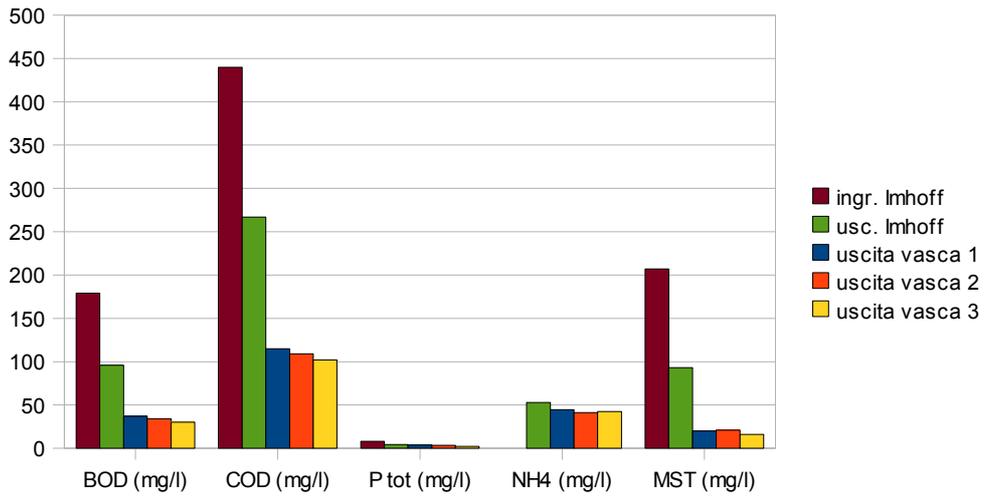
Da notare come anche nelle statistiche relative agli ultimi anni (successive quindi all'entrata in funzione della terza vasca) l'impianto abbia sempre lavorato in condizioni di sovraccarico. Sarà quindi interessante valutare il rendimento dell'impianto in condizioni di utilizzo "estreme", e valutare così la capacità di adattamento delle macrofite alle variazioni di portata in ingresso.

5.5 Rendimenti

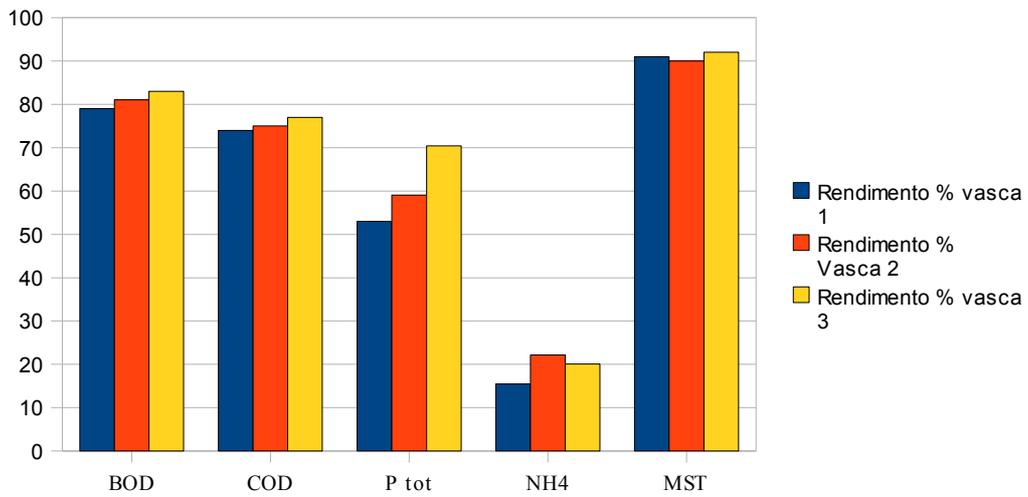
L'ipotesi di partenza è dimostrare come su piccola scala i trattamenti appropriati possano ottenere performance depurative competitive rispetto agli impianti tradizionali; vediamo quindi quali sono i risultati ottenuti nell'abbattimento dei principali parametri chimici e biologici nell'impianto di Lugo.

Caratteristiche di funzionamento						
Parametri	Valori medi anno 2008			Abbattimenti medi		
	Ingresso	Uscita	N° determin.	2008	2007	2006
BOD mg/l	214,5	25,5	4	87,6	82,3	82,1
COD mg/l	422	103,5	4	75,1	77,7	78,2
MST mg/l	91	12,3	4	86,0	89,7	90,8
Azoto ammoniacale mg/l	82,0	36,7	4	55,4	52,3	55,4
Fosforo mg/l	7,0	3,8	4	46,0	33,7	48

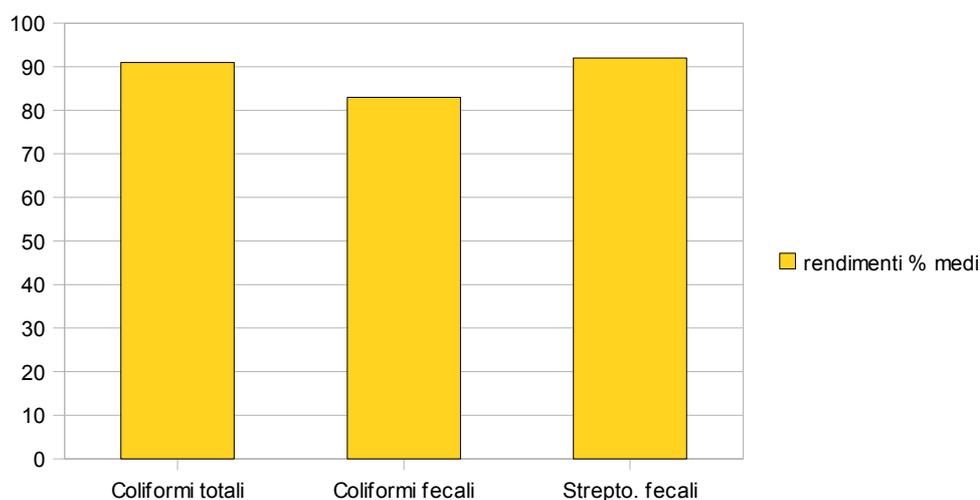
La tabella presenta una visione d'insieme dei rendimenti dell'impianto rispetto ai principali parametri chimici e biologici; i valori riportati sono la media aritmetica dei singoli dati raccolti nel corso dell'anno. Una prima considerazione che si può fare è che mentre i rendimenti nel campo della rimozione di BOD, COD, solidi totali e azoto sono comparabili a quelli degli impianti tradizionali, la performance nell'abbattimento del fosforo è modesta.



Consideriamo ora i rendimenti specifici delle singole vasche rispetto agli stessi parametri;



Vediamo inoltre qual'è il rendimento del sistema di fitodepurazione nell'abbattimento dei parametri microbiologici (coliformi totali, coliformi fecali, streptococchi fecali);



La media degli abbattimenti per i parametri microbiologici si attesta quindi attorno al 90%.

5.6 Conclusioni

Da una revisione degli abbattimenti rispetto ai singoli parametri è possibile riassumere i tratti salienti della performance depurativa dell'impianto;

- gli abbattimenti del sistema SSFH sulla sostanza organica sono elevati; i rendimenti relativi al BOD_5 si attestano tra l'80 e il 90%, mentre quelli relativi al COD risultano superiori al 70%;
- i rendimenti relativi ai nutrienti risultano piuttosto modesti;
- interessante la performance di rimozione dei solidi totali, che si attesta sul 90%
- l'abbattimento dei parametri biologici (coliformi fecali e totali, streptococchi) si attesta anch'esso sul 90%.

Bisogna inoltre tenere conto della situazione emersa dalla visita all'impianto; il fatto che la prima vasca sia pressoché priva di popolazione e di fatto lavori come un filtro a sabbia, ci dimostra che in realtà i rendimenti dell'impianto sono anche superiori a quanto ci si potrebbe aspettare, ricordando anche che fin dall'inizio la superficie

specifica in relazione al numero di abitanti equivalenti è stata sottodimensionata.

Dai dati raccolti e dalle considerazioni fatte finora si può concludere che il sistema di fitodepurazione SSSH rappresenta un'ottima soluzione per il trattamento dei reflui laddove non siano richieste particolari rese depurative relativamente ai nutrienti. In questa situazione adottando superfici specifiche di circa $2,5 \text{ m}^2/A.E.$ (circa $16 \text{ g } BOD_5/m^2d$) si raggiungono qualità medie dell'effluente di MST pari a 20 mg/l e di BOD_5 pari a 35 mg/l . Solo nel caso sia necessario rispettare limiti più restrittivi si può ricorrere ad un aumento della superficie specifica fino $3-4 \text{ m}^2/A.E.$, anche se dall'esperienza sul campo si nota tuttavia che ad un aumento di superficie specifica non corrisponde un proporzionale aumento dei rendimenti.

6 Secondo esempio applicativo: Double-pit compost toilet (Fossa Alterna)

6.1 Composting: introduzione al riutilizzo dei reflui

Con il termine di composting ci si riferisce ad un insieme di pratiche volte a riutilizzare gli escrementi umani, essenzialmente in agricoltura come fertilizzanti ma anche come nutrienti per allevamenti ittici e coltivazione di alghe.

L'utilizzo dei rifiuti umani come fertilizzante è una pratica avente una lunga tradizione e tuttora estremamente popolare, specie in alcune aree del pianeta come Cina, Sud Est Asiatico e Sud America; si calcola che ad oggi circa il 10% dei reflui prodotti nel pianeta venga riutilizzato in agricoltura, spesso senza essere trattato in alcun modo; abbiamo visto come il carico di patogeni e metalli pesanti renda rischiosa tale pratica.

I rischi sono maggiori laddove le falde acquifere sono prossime alla superficie; in questo caso infatti è estremamente facile che i percolati provenienti dalle latrine possano infiltrarsi e contaminare le acque, esponendo quindi le popolazioni al pericolo di infezioni ed epidemie.

Bisogna in ogni caso ricordare che affinché il rischio potenziale legato alla dispersione di fanghi non trattati nell'ambiente diventi un effettivo pericolo per la salute pubblica devono verificarsi tutte le seguenti condizioni;

I)che una dose infettante di patogeni raggiunga un campo o una vasca di coltura acquatica, o che una dose minima di patogeni riesca a moltiplicarsi fino a divenire infettiva;

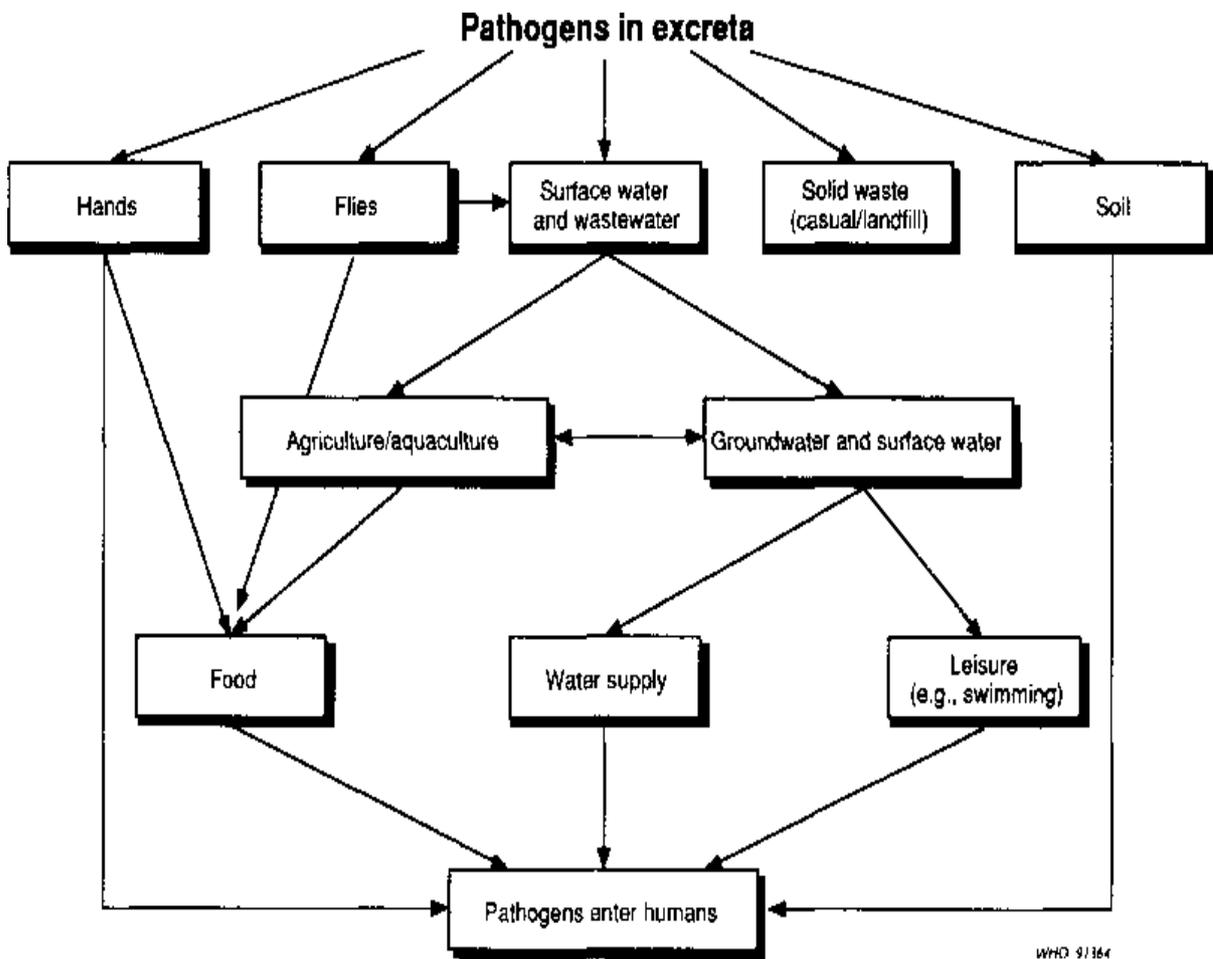
II) che tale dose infettante raggiunga un ospite umano;

III) che tale ospite sviluppi un'infezione;

IV) che tale infezione generi una malattia oppure un'ulteriore trasmissione.

Per dose infettante si intende la quantità di patogeni necessaria per generare l'insorgenza di una malattia nell'uomo.

Le voci I, II e III rappresentano un rischio potenziale; la voce IV rappresenta invece il rischio effettivo per la salute pubblica.



Le modalità di trasmissione dei patogeni sono molteplici , ma le categorie a rischio possono essere grossolanamente schematizzate così;

- i consumatori delle colture fertilizzate da reflui non trattati;
- i contadini e in generale tutti i lavoratori che quotidianamente entrano in contatto con i reflui;
- coloro che vivono in prossimità di scarichi non trattati.

In relazione ai patogeni, per valutarne la pericolosità effettiva, è utile conoscerne approssimativamente i tempi di sopravvivenza; infatti tutti i patogeni una volta espulsi dal loro ospite estinguono, quindi il rischio che rappresentano per la salute pubblica è legato alla loro longevità una volta allontanati dal loro habitat.

Riportiamo i tempi di sopravvivenza stimati per i principali patogeni, nel caso di clima tropicale e di clima temperato;

Average Survival Time in Wet Faecal Sludge at Ambient temperature ¹		
Organism	In temperate climate (10-15 °C) [days]	In tropical climate (20-30°C) [days]
Viruses	<100	<20
Bacteria		
Salmonellae	<100	<30
Cholera	<30	<5
Faecal coliforms ²	<150	<50
Protozoa		
Amoebic cysts	<30	<15
Helminths		
Ascaris eggs	2-3 years	10-12 months
Tapeworm eggs	12 months	6 months
1. Conservative upper boundaries to achieve 100% die-off; survival periods are shorter if the faecal material is exposed to the drying sun, hence, to desiccation		
2. Faecal coliforms are commensal bacteria of the human intestines and used as indicator organisms for excreted pathogens		

Ricordiamo inoltre come i tempi di sopravvivenza dei patogeni siano fortemente influenzati da fattori esterni quali temperatura, pH, raggi UV e umidità;

Temperatura	La maggior parte dei microrganismi sopravvive bene alle basse temperature (<5°C), per eliminarli servono alte temperature (40-50 °C), che si raggiungono durante la fase di igienizzazione del compostaggio
pH	I microrganismi vivono bene a pH neutro (7), se il composto diventa molto acido oppure alcalino i germi patogeni moriranno. Se si dispone di calce, si può rendere il composto più acido altrimenti aggiungendo delle ceneri lo si può rendere alcalino
Umidità	Un basso livello di umidità ucciderà gli agenti patogeni, e questo avviene in latrine a secco, come la compost toilet . Un buon livello di umidità è < 25%

Raggi solari	I raggi UV riducono il numero di patogeni, infatti dopo l'applicazione del compost nei campi ci sarà un'ulteriore diminuzione dei patogeni
---------------------	--

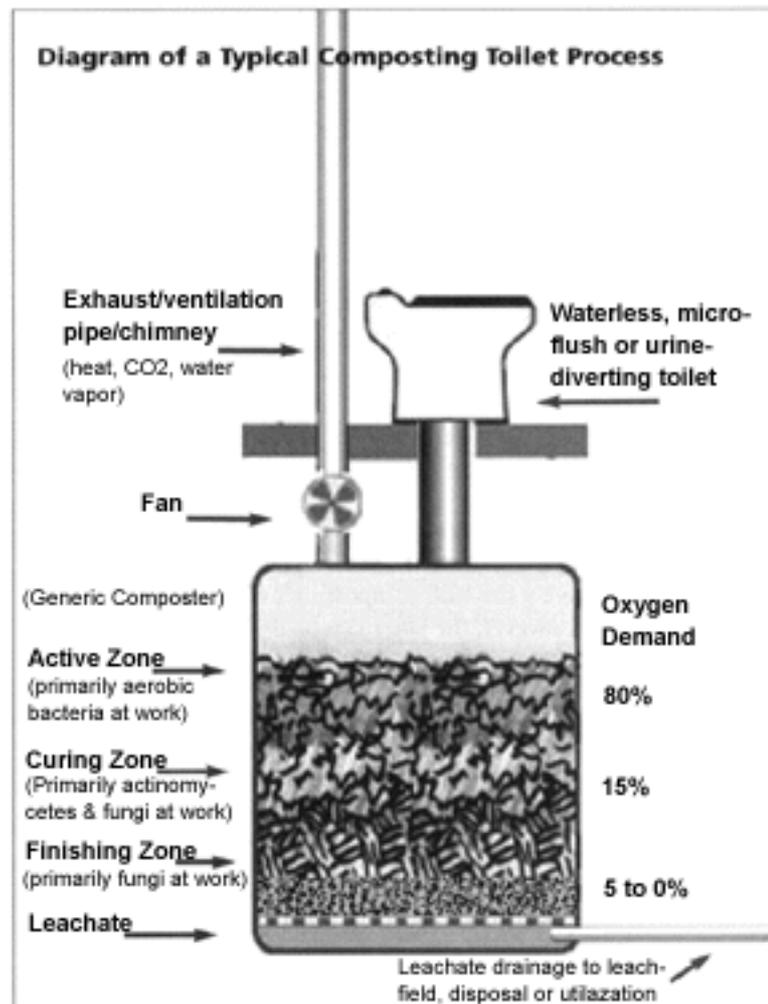
6.2 Funzionamento e struttura di una compost toilet

Alla luce di quanto visto finora, dall'utilizzo della compost toilet ci aspettiamo principalmente il raggiungimento di 2 obiettivi;

- **CONTENERE, IMMOBILIZZARE e DISTRUGGERE** gli **ORGANISMI PATOGENI** potenzialmente rischiosi per l'uomo riducendo così le possibilità di infezione per la popolazione e di inquinamento per l'ambiente;
- **TRASFORMARE** i **NUTRIENTI** presenti nelle deiezioni affinché diventino un fertilizzante adatto per il terreno.

Gli elementi costitutivi di una compost toilet sono;

- la camera di compostaggio, connessa ad una o più latrine (nel caso di Fossa Alterna, le camere di compostaggio diventano 2)
- un sistema di ventilazione che consenta apporto di ossigeno per i processi aerobici
- un sistema per l'eliminazione degli odori, del vapore acqueo e dei sottoprodotti della digestione aerobica
- un tubo per la raccolta del percolato e dei liquidi in eccesso
- un punto di accesso per lo svuotamento e l'eventuale manutenzione.



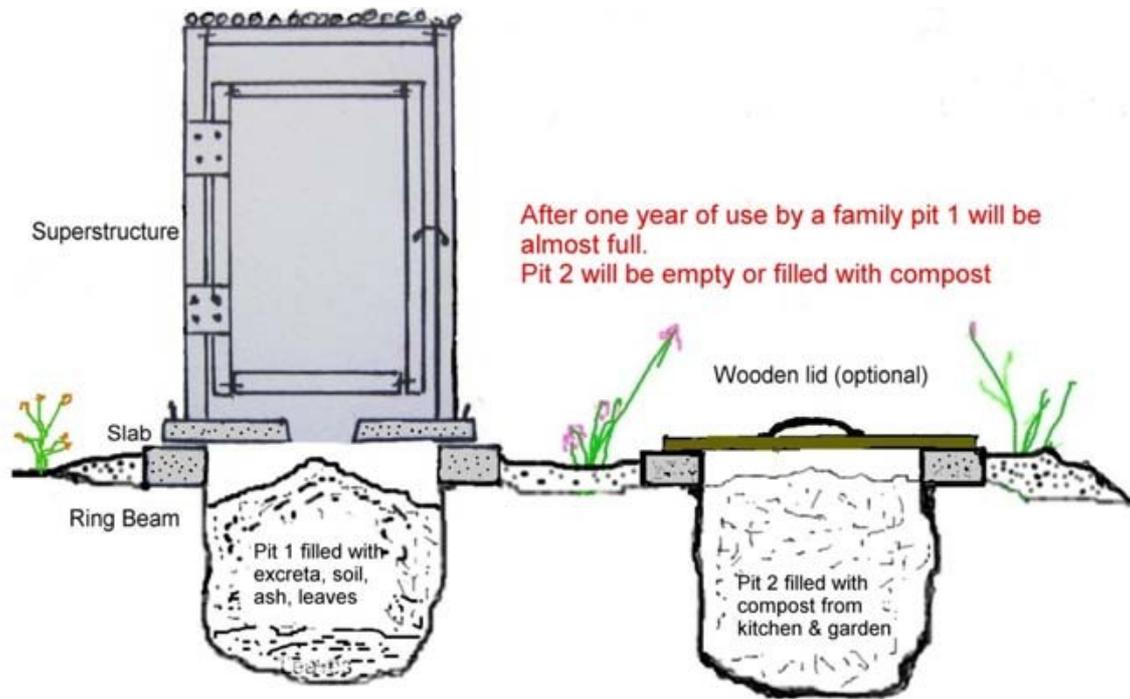
Schema generico di funzionamento per compost toilet

Il ciclo di funzionamento di una latrina double-pit, se ben dimensionata, può essere così schematizzato;

- durante il primo anno di vita la prima fossa viene utilizzata e riempita gradualmente mentre la seconda è lasciata vuota o riempita con foglie;
- una volta piena la prima fossa (di solito dopo un anno) viene chiusa e lasciata a compostare mentre la latrina viene spostata sulla seconda;
- quando anche la seconda fosse è piena viene chiusa mentre la prima viene svuotata e di nuovo messa in opera.

In assenza di problemi di manutenzione gravi il ciclo può così continuare indefinitamente.

6.3 Progettazione di una latrina Fossa Alternata



6.3.1 Scelta del sito

Le uniche precauzioni da adottare nella scelta della localizzazione sono legate alla vicinanza con falde acquifere, che eventuali perdite di percolato potrebbero contaminare; in letteratura si raccomanda la costruzione delle latrine ad almeno 20 m da qualsiasi pozzo e di 2m del limite inferiore delle fosse dalla tavola d'acqua laddove ci si trovi in prossimità di una falda. Nel caso di compost toilet tali precauzioni sono teoricamente inutili dato che le fosse non dovrebbero consentire infiltrazione di percolato nel suolo.

6.3.2 Dimensionamento delle camere di compostaggio

Per determinare il volume delle camere dove consentire l'accumulo di reflui per un periodo adeguato (alla luce dei criteri esposti nei paragrafi precedenti), si fa riferimento alla seguente formula;

$$V = \frac{N * S * D}{1000}, \text{ il cui il volume così calcolato è da intendersi espresso in } m^3 ;$$

N= numero di utenti della latrina

D= tempo di vita della latrina in anni, assumendo come valori di riferimento

- 2-3 anni per latrina a fossa semplice
- 1-2 per latrina a fossa doppia;
- 0,5-1 anno per latrina a fosse doppia con separazione di urine.

S= tasso di accumulo dei fanghi calcolato in litri *persona * anno, calcolato secondo la seguente tabella;

Tipo di reflu e condizioni di stoccaggio	Tasso di accumulazione S (litri*persona*anno)
Rifiuti umani umidi con utilizzo di materiale degradabile per l'igiene intima	40
Rifiuti umani umidi con utilizzo di materiale non degradabile per l'igiene intima	60
Rifiuti umani secchi con utilizzo di materiale degradabile per l'igiene intima	60
Rifiuti umani secchi con utilizzo di materiale non degradabile per l'igiene intima	90
<i>In situazioni di emergenza (accumulazione rapida di reflui) il tasso S dev'essere moltiplicato per 150-200 %</i>	

Una volta calcolato il volume di ciascuna camera, si stabiliscono le dimensioni areali della base della toilet e successivamente si determina la profondità del pit; per il calcolo dell'area su cui costruire la sovrastruttura ci si basa sull'esperienza, l'opzione più usata è una superficie rettangolare di poco superiore al metro quadro.

6.3.3 Costruzione di una latrina Fossa alterna

Esistono vari modi per costruire una latrina Fossa Alterna; tipicamente le scelte più importanti riguardano;

- costruire camere di compostaggio interrate o all'aria aperta

- costruire una sovrastruttura mobile oppure fissa.

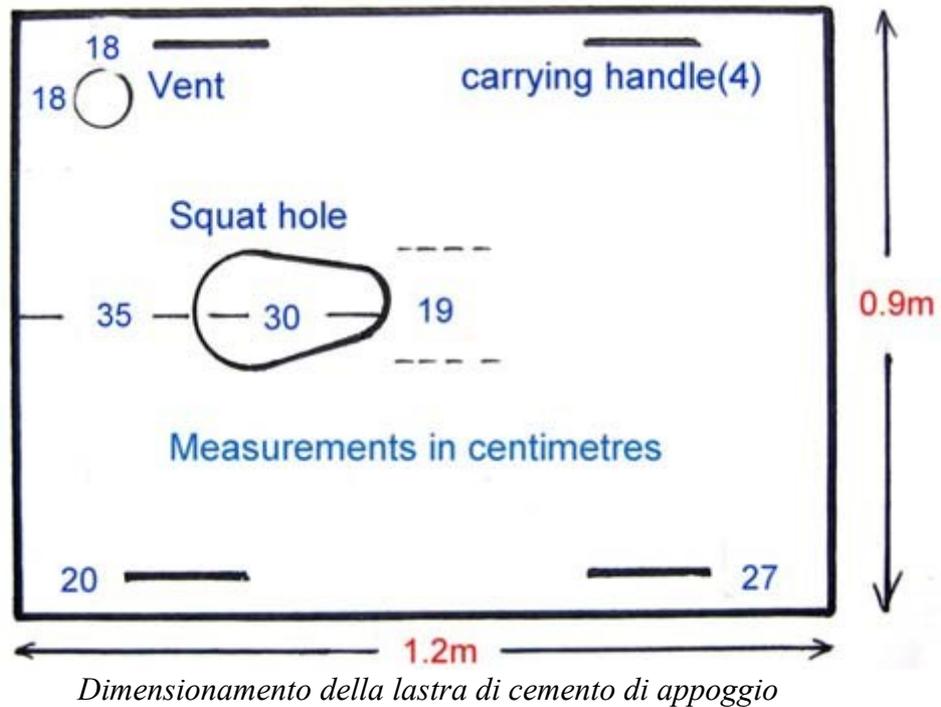
Per quanto riguarda le camere, laddove non ci siano particolari rischi legati ai percolati o all'infiltrazione in falda la scelta di scavare le camere senza dover costruire una gabbia contenitiva in cemento risulta sicuramente più economica.

Analogamente, la costruzione di una sovrastruttura mobile risulterà più semplice e meno dispendiosa rispetto a una struttura fissa che copra entrambe le fosse; tuttavia la seconda scelta rende l'utilizzo e la manutenzione più semplici (non è necessario spostare la struttura quando una fossa è piena).

Prenderemo in esame il caso in cui le camere di compostaggio siano scavate direttamente nel terreno senza costruire alcun tipo di gabbia contenitiva. Il primo passo per la costruzione della struttura è il dimensionamento e la messa in opera di una lastra di cemento che farà da supporto al w.c e alla sovrastruttura.

- **Costruzione della lastra di cemento di appoggio**

La lastra sarà costruita utilizzando un misto di cemento e sabbia di fiume di buona qualità, rinforzandola eventualmente con un'anima di fil di ferro. Lo stampo con cui ottenerla sarà ottenuto disponendo opportunamente uno strato di mattoni su terra battuta e livellata. Nel caso da noi esaminato la lastra è rettangolare, con lunghezza pari a 1,2 m e larghezza 0,9m ed è ottenuta a partire da dieci litri di cemento mescolati a 50 litri di sabbia di fiume. I buchi per consentire l'inserimento del tubo di ventilazione e del piedistallo sono ottenuti inserendo appositi stampi nella matrice di mattoni. Si procede versando una prima metà della miscela direttamente sullo stampo di mattoni; si appoggiano quindi su questo primo strato otto rinforzi (4 da 1,15 m e 4 da 0,85 m) di fil di ferro di spessore 3-4 mm. A questo punto si aggiunge la seconda metà della miscela che viene livellata fino ad essere sufficientemente omogenea; è possibile inserire a questo punto 4 maniglie in acciaio per facilitare lo spostamento del manufatto.



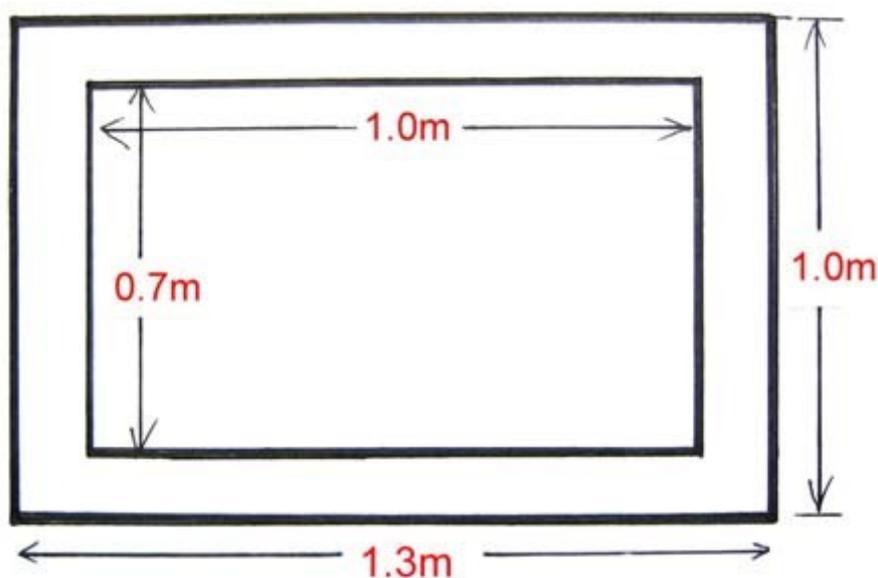
Come ottenere in pratica i fori nella posizione voluta; nell'esempio fotografato, si utilizzano un secchio dal fondo tagliato e modellato con fil di ferro per il piedistallo mentre e un pezzo di tubo di lunghezza sufficiente per il futuro tubo di ventilazione.



Costruzione di un supporto in cemento rettangolare

Questa operazione è fondamentale per garantire la stabilità delle fosse; il supporto ha infatti il duplice ruolo di stabilizzare il terreno attorno alla fossa e di sollevare il bordo della stessa di qualche cm dal livello del suolo, proteggendola così dall'infiltrazione di acque meteoriche.

Il dimensionamento del supporto dovrà chiaramente essere congruente con le dimensioni della lastra; in questo caso avremo una lunghezza di 1,3m per il bordo esterno del supporto e di 1m per quello interno, mentre la larghezza avrà dimensioni rispettivamente 1m e 0,7 m. La miscela viene ottenuta come visto in precedenza per la lastra e ugualmente rinforzata con 4 pezzi di fil di ferro per la lunghezza e 4 per la larghezza. Il supporto va lasciato asciugare per almeno 7 gg.



Dimensionamento del supporto di cemento per la lastra

Di solito la sagoma per il supporto viene ottenuta utilizzando mattoni allineati, e realizzata quindi con uno spessore di circa 75 mm. Di solito i supporti per le latrine fossa alterna vengono costruiti direttamente in situ (la fossa viene scavata direttamente al loro interno), con la precauzione di distanziare una fossa dall'altra di almeno 0,5 m.



Costruzione dei supporti



Latrina completata

Quando si inizia ad utilizzare la latrina può essere una buona idea stendere uno strato di foglie sul fondo della fossa che verrà utilizzata per prima, ed eventualmente riempire completamente l'altra con lo stesso materiale; così facendo al termine del primo ciclo la fossa rimasta inutilizzata avrà prodotto del compost a partire dal fogliame.

– **Costruzione di un piedistallo a basso costo**

Esistono vari modi per ottenere un piedistallo che svolga la funzione di un w.c tradizionale con budget davvero molto bassi. In ogni caso è previsto l'utilizzo di una miscela di cemento e sabbia analoga a quella utilizzata per la lastra e il supporto delle fosse e di un secchio di plastica che protegga l'interno del nostro w.c.

- La prima opzione, più economica in assoluto, prevede l'utilizzo di un secchio da dieci litri a cui viene tolto il fondo. Successivamente l'estremità superiore del secchio viene poggiata su un foglio di plastica e ad una distanza di 75 mm circa dal bordo si disegna una linea parallela al bordo stesso; a questo punto una miscela precedentemente preparata con un terzo di cemento e due terzi di sabbia di fiume viene disposta attorno alla base del secchio seguendo la linea tracciata in precedenza e lungo le pareti del secchio. Il piedistallo così ottenuto viene lasciato asciugare per due notti e successivamente sollevato e rovesciato all'interno di uno stampo per la base riempito con la solita miscela, eventualmente rinforzata con fil di ferro per garantirne la solidità. A questo punto l'anello di cemento che verrà utilizzato come sedia può essere levigato e dipinto, una volta asciugatosi.



Costruzione del piedistallo

- L'opzione da me preferita risulta essere leggermente più costosa in quanto richiede l'acquisto di una sedia di plastica di fabbricazione industriale, tuttavia presenta il grosso vantaggio di essere più facile e veloce da costruire, oltre che più funzionale.

In primo luogo si prende il sedile e con un filo arroventato si praticano dei fori nelle costole di plastica nella parte inferiore del sedile, così da poter far passare un'intelaiatura di fil di ferro attraverso di essi. Successivamente si procede a riempire lo spazio vuoto sotto il sedile con una miscela 2:1 di sabbia e cemento, e allo stesso tempo un secchio da 20 litri (con il fondo rimosso come già visto in precedenza) viene messo sopra la sedia in posizione centrale; quindi si inseriscono nel cemento attorno al bordo del secchio pezzi di fil di ferro

sagomati ad L che vengono fatti aderire alle pareti. Una volta che il cemento applicato al sedile comincia ad indurire si procede a passare un primo strato di miscela 2:1 di sabbia e cemento lungo le pareti del secchio; non appena questo strato è sufficientemente indurito si applica una spirale di fil di ferro sottile attorno a tutta la superficie già lavorata, e quindi si può aggiungere una seconda mano di cemento. Dopo 2 giorni di riposo durante i quali il manufatto dovrà sempre essere mantenuto bagnato, si può attentamente ribaltare il manufatto inserendolo in una sagoma per la base precedentemente preparata e riempita con una miscela di cemento più forte, e di nuovo lasciare il tutto a riposare. Alla fine del periodo di riposo, il piedistallo è pronto per l'uso.

– **Costruzione della sovrastruttura**



*Struttura mobile per fossa
alterna*

La scelta della tipologia di sovrastruttura non è vincolata a particolari vincoli funzionali, se non quello di garantire un minimo di privacy all'utente; pertanto entrano in gioco fattori di carattere sostanzialmente economico ed estetico. Si possono costruire sovrastrutture estremamente semplici a partire da pali di legno, fogliame o bambù, oppure si possono utilizzare strutture in metallo prefabbricate, nel caso di

struttura mobile (da spostare cioè ad ogni riempimento di fossa); oppure nel caso delle latrine fossa alterna si può anche scegliere di costruire una struttura permanente che contenga entrambe i pit, all'interno della quale quindi vengono spostati solo la lastra di cemento di copertura e il piedistallo.

In questo caso è può avere senso optare per una costruzione in mattoni dotata anche di un tetto minimale che possa ospitare al suo interno anche un sistema di lavaggio per le mani, il cui scarico non andrà a finire nei pit per non rendere il compost

troppo umido.



Struttura permanente per fossa alterna

– **Costruzione di semplici sistemi per il lavaggio delle mani**

Dotare le latrine di mezzi che consentano il lavaggio delle mani dopo l'utilizzo si rivela determinante per migliorare in maniera significativa l'igiene personale e ridurre al minimo i rischi collegati al potenziale contatto con i patogeni contenuti negli escrementi. E' possibile costruire soluzioni molto semplici e a costo praticamente nullo utilizzando materiali di scarto.



Lattina forata con saponetta

E' possibile ad esempio disporre nelle vicinanze della latrina un secchio o una bottiglia d'acqua pulita; in prossimità di questo costruire un semplice dispositivo, banalmente una lattina vuota o una coppa, da tenere sospeso con fil di ferro in maniera tale da consentire un accesso agevole, che verrà riempito d'acqua direttamente prima dell'utilizzo. Laddove disponibile, si può anche forare una saponetta ed appenderla vicina al dispositivo. E' saggio posizionare il dispositivo vicino ad un albero o una

pianta in maniera tale da non sprecare l'acqua utilizzata.

Un'altra possibilità è quella di utilizzare una bottiglia di plastica e praticare un foro sul fondo utilizzando un chiodo; con questo sistema, quando il tappo è avvitato l'acqua non esce, mentre svitandolo si ha fuoriuscita di liquido. Il vantaggio che questa soluzione offre è che la bottiglia può garantire diversi lavaggi prima di dover essere riempita di nuovo.



Bottiglia forata e saponetta

6.4 Criteri di utilizzo e manutenzione

Il vantaggio rappresentato dall'utilizzo di una latrina con due fosse consiste nella possibilità di utilizzare a tempo virtualmente indefinito lo stesso sito, spostando solo la lastra ed eventualmente la struttura (nel caso di sovrastruttura mobile) da una fossa all'altra alla fine di ogni ciclo. Solitamente per riempire un pit ci vogliono 9-12 mesi; nel caso la velocità di riempimento sia maggiore è possibile costruire una terza fossa, magari in prossimità di un albero, dove trasferire il compost maturato in 6-9 mesi e rendere così nuovamente disponibile la fossa.

Una pratica estremamente utile per favorire il processo di compostaggio consiste nell'aggiungere con regolarità materiale secco per impedire al compost di diventare troppo umido. Tra le varie opzioni ricordiamo;

- La cenere di legno è spesso la risorsa più usata, contribuisce a neutralizzare l'acidità delle feci e fornire l'apporto in potassio al compost. Sembra però che la sua composizione molto alcalina favorisca l'evaporazione dell'azoto sotto forma di

ammoniaca. Ciò non inficia però il suo ruolo di attivatore della decomposizione e aiuto nella distruzione di insetti e parassiti.

- La segatura invece non aiuta la formazione del compost poiché è difficilmente attaccata dai microrganismi, ma rallenta l'opera degli stessi sulle sostanze di cui si imbeve.
- I residui di frutta e verdura, grazie al loro volume, possono favorire l'aerazione del compost, e il loro contenuto in carbonio può riequilibrare l'azoto. Rischiano però di attirare insetti e parassiti particolari; le bucce di pomodoro e di patate invece aiutano la distruzione di insetti e parassiti già presenti.
- Versare un cucchiaio di olio vegetale ogni due- tre giorni in una latrina a secco impedisce lo sviluppo di uova e larve di mosca e migliora la qualità del compost.
- La terra naturale, sminuzzata finemente e secca è il miglior additivo possibile: assorbe le sostanze volatili (ad esempio fissa l'azoto da 15 a 20 volte meglio della cenere) in più impedisce la formazione di odori e respinge mosche ed insetti, trattiene calore e umidità, facilitando la decomposizione e la distruzione di parassiti e delle uova e larve, inoltre fornisce minerali.

Seguendo questi semplici accorgimenti il materiale accumulatosi a fine ciclo sarà sicuro per la rimozione e costituirà un ottimo fertilizzante per il terreno.

6.5 Analisi dei risultati ottenuti dal riutilizzo del compost



Compost ottenuto mescolando terreni sabbiosi ai reflui

Per valutare la qualità del compost si fa solitamente riferimento al rapporto di carbonio e azoto (C/N) che dovrebbe essere circa 30. Il compost ottenuto alla fine del ciclo di utilizzo può variare anche in maniera significativa in aspetto e composizione a seconda

del tipo e della qualità di terreno aggiunto. Laddove si utilizzano terreni sabbiosi e secchi il prodotto finale avrà una consistenza sabbiosa e quasi priva di humus; se invece c'è disponibilità di terreno fertile e fogliame il compost ottenuto avrà l'aspetto e la consistenza dell'humus. Questo tipo di compost in particolare rappresenta un ottimo fertilizzante per i terreni più aridi.



Compost simile all'humus

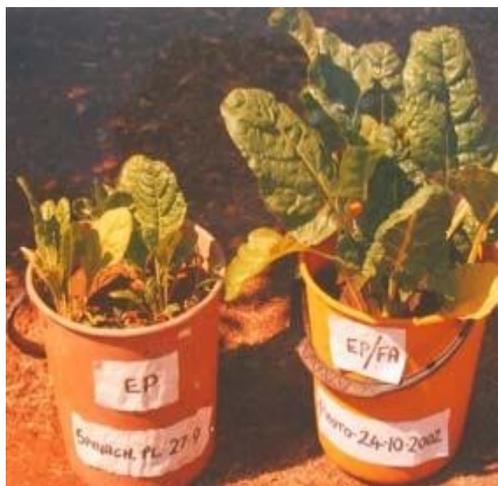
E' possibile verificare i benefici derivanti dall'utilizzo del compost nelle pratiche agricole facendo un semplice test; far crescere contemporaneamente lo stesso tipo di coltivazione su terreno fertilizzato con il compost e su terreno normale.



Lattuga coltivata in terreno fertilizzato e non

A seconda della pianta e del periodo di osservazione si osservano comunque miglioramenti consistenti nella velocità di crescita e nella qualità della pianta; negli spinaci dopo 30 giorni di osservazione si è ottenuto un raccolto sette volte maggiore rispetto alla coltivazione in terreno non fertilizzato, nella

cipolla tre volte maggiore dopo circa tre mesi di osservazione, nella lattuga di nuovo sette volte maggiore dopo 30 giorni di osservazione.



Spinaci in terreno fertilizzato e non



Cipolle in terreno fertilizzato e non

E' anche possibile trarre benefici dal compost non completamente stabilizzato; è pratica abbastanza comune quando la velocità di riempimento delle fosse è maggiore del previsto e si rende necessario svuotarle prima dei 9-12 mesi canonici usare il compost “fresco” per piantare un albero.

7 Conclusioni

Il tema del trattamento dei reflui è un argomento particolarmente “sensibile” dal punto di vista ambientale; una gestione adeguata delle acque nere e dei FS risulta infatti essere un fattore decisivo per la salute delle popolazioni umane e per la tutela dell'ambiente.

Come visto nel capitolo 3, spesso la difficoltà di accedere a sistemi di trattamento idonei risulta collegata alla scarsità della risorsa idrica; viceversa, nei paesi industrializzati l'uso diffuso di sistemi di trattamento centralizzati comporta l'utilizzo di ingenti quantità di acqua per il convogliamento dei reflui nonché l'investimento di ingenti risorse economiche e naturali per il successivo trattamento.

Mi sono quindi proposto di studiare opzioni di trattamento che consentissero di coniugare buone performance di trattamento con un basso impatto ambientale, costi contenuti e una massima semplicità a livello di progettazione e manutenzione.

Nel caso dell'impianto di Lugo, che è stato uno dei primi esperimenti nel campo della fitodepurazione in Italia, si sono riscontrati dei rendimenti leggermente inferiori a quelli attesi per la categoria di trattamento considerata; tuttavia tale discostamento è ampiamente giustificato dalla condizione attuale di funzionamento ridotto di una delle vasche e dal fatto che l'impianto è sostanzialmente sottodimensionato, offrendo una superficie di 2,5 mq per abitante equivalente quando lo standard indicato dalla letteratura è tra i 4 e i 7 mq. L'impianto ha praticamente lavorato da sempre in condizioni di sovraccarico dimostrando un'ottima adattabilità alle condizioni di stress a cui è stato sottoposto e richiedendo costi di messa in opera e di manutenzione estremamente bassi se comparati a quelli di un impianto tradizionale. Inoltre l'impatto ambientale di questo sistema è pressoché nullo dato che il processo depurativo è a carico di essenze vegetali che sono l'unica parte visibile dell'impianto; per la popolazione i fastidi collaterali sono ridotti al minimo dato che non c'è produzione di cattivi odori né proliferazione di insetti.

La latrina compost toilet riassume invece in sé alcune caratteristiche che la rendono ideale per trattare con costi contenuti i reflui di comunità isolate. Si tratta infatti di un sistema estremamente efficace e sicuro nel neutralizzare i patogeni (a patto di lasciare che il processo di composting avvenga in tempi adeguati al clima in cui ci si trova ad operare), può essere costruita a partire da materiali tutti reperibili in loco e non richiede l'utilizzo di acqua per funzionare, il che la rende particolarmente adatta per i contesti

dove l'approvvigionamento idrico è difficoltoso; soprattutto, consente il riutilizzo immediato in agricoltura dei nutrienti di cui gli escrementi umani sono ricchi. Se utilizzata correttamente la compost toilet migliora drasticamente la qualità della vita degli utenti e può funzionare praticamente a tempo indeterminato richiedendo compiti di manutenzione molto semplici.

Entrambe le soluzioni prese in considerazione, sebbene si adattino a servire utenze di diverso ordine di grandezza (l'impianto di fitodepurazione di Lugo serve 100 abitanti equivalenti, le compost toilet sono solitamente dimensionate per nuclei monofamiliari fino a una decina di A.E.), si sono rivelate adatte dal punto di vista funzionale e in linea con le caratteristiche proprie delle tecnologie appropriate.

8 Bibliografia

8.1 Materiale Cartaceo

G.L. Bragadin, M.L. Mancini, *Depurazione e Smaltimento degli Scarichi Urbani*, BOLOGNA, Pitagora Editrice, 2007

R. Vismara, *Depurazione biologica*, Hoepli 1988(2a ed)

De Marco S., Bevilacqua P., *Il controllo degli scarichi degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane ai sensi del D. Lgs. 152/99*, febbraio 2002

M. Pergetti, G. L. Spigoni, F. Moroni, *Primi risultati sperimentali dell'impianto di fitodepurazione a flusso sub- verticale di Lugo di Baiso*, *Ingegneria Ambientale* vol. XXIV, n.10, ottobre 1995

M. Pergetti, A. Salsi, *Applicazione di impianti di fitodepurazione per piccole comunità: gli impianti di a flusso subsuperficiale di Lugo (Baiso) e Tabiano (Viano)*, *Ingegneria Ambientale* vol.XXI, n.1 gennaio 2002

R. Vismara, F. Egaddi, G. Garuti, M. Pergetti, A. Pagliughi, *Linee guida per il dimensionamento degli impianti di fitodepurazione a macrofite radicate emergenti; gli esempi internazionali ed una proposta italiana*, *Ingegneria Ambientale* vol.XXIX, n.3/4 marzo/aprile 2000

M. Borin, *Fitodepurazione - Soluzioni per il trattamento dei reflui con le piante*, Edagricole, Bologna, 2005

Enia Spa, *IMPIANTI DI DEPURAZIONE - Dati tecnici e risultanze analitiche relative all'anno 2007*

Rocky Mountain Institute, *Valuing Decentralized Wastewater Technologies*, Novembre 2004

A. Conte, *Ecocabin monitoring at Centre for alternative technologies*

A. Bonoli, M. Garfi, *Tecnologie appropriate per la gestione delle acque reflue e dei fanghi nei Paesi in Via di Sviluppo*

Barrett Hazeltine , Christopher Bull, *Field Guide To Appropriate Technology*

Roland Schertenleib (Eawag), *Excreta, wastewater and faecal sludge management – adequate solutions for developing countries*

John Pickford and Rod Shaw, *Latrine slabs and seats*

Paul Calvert, *Compost toilet. Technical Report*

Peter Morgan, *Toilets that make compost: low-cost, sanitary toilets that produce valuable compost for crops in an African context*, Practical Action, settembre 2006

Ursula J Blumenthal and Anne Peasey, *Critical review of epidemiological evidence of the health effects of wastewater and excreta use in agriculture*, London School of Hygiene and Tropical Medicine, Dicembre 2002

Hans Jonas, *Il principio responsabilità*, Einaudi 2002

Regione Emilia Romagna, *PTA (Piano per la Tutela delle Acque)*, Dicembre 2005

Dlgs 152/99

8.2 Web

<http://www.sandec.ch/>

http://www.eawag.ch/index_EN

<http://www.who.int/en/>

<http://www.iridra.com/>

<http://www.susana.org/>

<http://www.itdg.org/>

Ringraziamenti

Ringrazio la prof. Bonoli per essere stata sempre disponibile ed aver accettato con entusiasmo questa mia proposta di tesi; Marianna Garfi per i suggerimenti e l'incoraggiamento (pervenuti nonostante l'oceano); il prof. Mancini per avermi seguito e consigliato nella stesura; Roberto Belli di Enia Spa per la disponibilità e le informazioni fornitemi.

Ringrazio inoltre;

i miei genitori per avermi permesso di studiare e per aver creduto in me;

mia sorella Chiara per aver sopportato i lati peggiori del mio carattere in questi anni a Bologna;

Andrea Conte, senza la cui amicizia questa tesi non sarebbe mai stata scritta;

Nico – Francesco – Andrea e Fulvio per la strada fatta insieme;

i compagni di studio (Federico, Luca, Alfonso);

tutti gli amici che hanno condiviso momenti di vita;

tutti gli ingegneri e gli scienziati che mettono la loro conoscenza al servizio degli altri e credono nella possibilità di un futuro migliore.