



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI
AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE
NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

*Trattamento del percolato
di discarica
mediante fitodepurazione*

Relatore: Prof. Mario MALAGOLI
Correlatore: Prof.ssa Maria C. LAVAGNOLO

Laureando:
Stefano DONA'
Matricola n. 1006812

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

“The best or nothing”

Gottlieb Daimler

Indice

<i>Riassunto</i>	<i>pag. 7</i>
<i>Summary</i>	<i>pag. 8</i>
<i>1 Il problema rifiuti</i>	<i>pag. 9</i>
<i>2 La discarica</i>	<i>pag. 11</i>
<i>2.1 Realizzazione di una moderna discarica</i>	<i>pag. 16</i>
<i>3 Cenni sulla raccolta differenziata</i>	<i>pag. 24</i>
<i>4 Il percolato</i>	<i>pag. 26</i>
<i>4.1 Comune smaltimento del percolato</i>	<i>pag. 28</i>
<i>5 La fitodepurazione</i>	<i>pag. 31</i>
<i>5.1 Realizzazione di un impianto di fitodepurazione</i>	<i>pag. 35</i>
<i>6 Materiali e metodi</i>	<i>pag. 39</i>
<i>6.1 Girasole</i>	<i>pag. 41</i>
<i>6.2 Soia</i>	<i>pag. 43</i>
<i>6.3 Analisi compiute sul terreno</i>	<i>pag. 45</i>
<i>6.4 Analisi compiute sul percolato e il liquido drenato</i>	<i>pag. 49</i>
<i>7 Risultati</i>	<i>pag. 53</i>
<i>8 Discussione</i>	<i>pag. 61</i>
<i>9 Conclusioni</i>	<i>pag. 64</i>
Bibliografia	<i>pag. 66</i>
Fonti iconografiche	<i>pag. 68</i>
Fonti giuridiche	<i>pag. 69</i>
Ringraziamenti	<i>pag. 70</i>

Riassunto

L'attività che è stata svolta durante il periodo compreso tra aprile e giugno del 2013 è stata indirizzata a capire se la fitodepurazione tramite l'utilizzo di piante di soia e di girasole possa essere una fattibile via di smaltimento del percolato di discarica.

Questo test è stato svolto in ambiente controllato (temperatura e fotoperiodo regolati rispettivamente da impianto di condizionamento dell'aria, oscuramento dei vetri e illuminazione tramite luci apposite) per non subire l'influenza da parte di fattori esterni quali pioggia, vento, etc.

Dopo la prima settimana dalla messa a dimora delle piante nelle apposite vasche riempite di terreno agrario, dove si è utilizzato solo acqua per l'irrigazione, si è proceduto con l'aumento, settimana per settimana, della concentrazione di percolato nell'acqua in modo tale da osservare le varie risposte delle piante alle diverse concentrazioni di inquinanti.

Alcune piante, sia di soia che di girasole, sono state irrigate a sola acqua, per controllo comparativo.

La quantità di acqua da utilizzare giornalmente è stata calcolata in base al fabbisogno idrico di cui le piante necessitano per completare il loro ciclo agronomico.

Circa ogni sette giorni, inoltre, sono stati prelevati campioni di acqua presenti nel fondo delle vasche per un'accurata analisi.

Con questo esperimento si è voluto valutare se le piante possano effettivamente sopravvivere a concentrazioni di percolato nel rapporto di circa 1:1 e in quale quantità siano in grado di accumulare nei tessuti i contaminanti presenti nel refluo della discarica.

Summary

The test that was carried out in the period from april to june 2013 was finalized to observe if the phytoremediation by soybean plants and sunflower plants is a realistic way to remediate the landfill leachate.

The plants were grown in tanks filled with soil in a temperature and light controller chambre.

In the first week, after planting only water was used for irrigation.

After the first seven days, the landfill leachate was diluted in irrigation water.

Control soybean plants and sunflower plants were irrigated only with water.

The daily volume used to irrigate the plants was calculated from the amount of water needed by the plants to complete their agronomical cycle.

About every seven day, water samples were collected at the bottom of the tanks.

The capacity of plants to survive to increasing doses of landfill leachate was observed and the accumulation of contaminants in plant tissues was measured.

1 IL PROBLEMA RIFIUTI

Solitamente la produzione dell'immondizia segue il trend "maggiore benessere/maggiore produzione di rifiuti".

Come si può notare dall'immagine "Figura 1.1" i paesi maggiormente coinvolti nella produzione di rifiuti urbani sono collocati per lo più nel Nord America, nell'Europa ed in Australia. È opportuno però sottolineare il fatto che paesi in via di sviluppo quali il sud Africa, il sud America e l'est Asiatico producono comunque una rilevante quantità di rifiuti, seppur in misura inferiore ai paesi sopracitati.

Non è da escludere, tuttavia, che in un prossimo futuro anche queste ultime nazioni raggiungano i vertici nella scala dei maggiori produttori di rifiuti.

Paradossalmente, però, la mappa "Figura 1.1" può avere un'altra chiave di lettura, ovvero può indicare lo stato di benessere dei paesi in quanto ad un maggiore sviluppo economico corrisponde un maggiore potere di acquisto di beni primari e non, che una volta utilizzati diventeranno rifiuti.

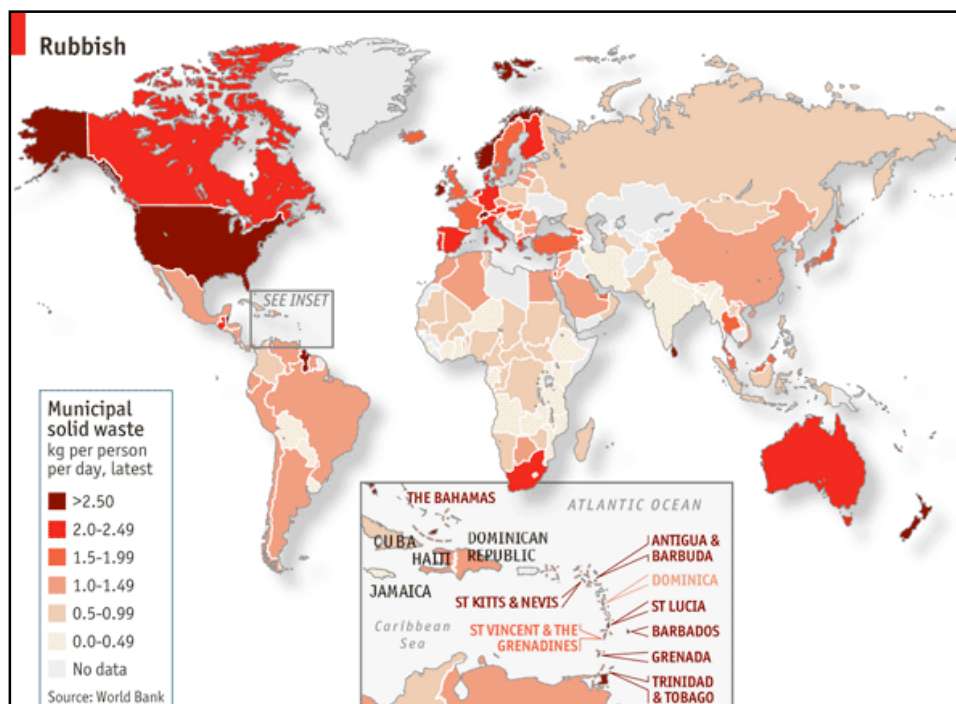


Figura 1.1 = Mappa produzione Rifiuti Solidi Urbani A.E.

(www.economist.com)

La gestione dello smaltimento dei R.S.U. risulta controllabile fino a determinate quantità, al di sopra delle quali diventa molto problematica e complessa, specialmente se si considerano tecniche di separazione alla fonte (come ad esempio la raccolta differenziata per il riciclo di carta, alluminio, plastica, ecc).

L'importanza dell'eco-sostenibilità è cresciuta sempre più in questi ultimi anni grazie alla sempre maggior attenzione per l'ambiente da parte delle persone ed alla crescente consapevolezza da parte dei consumatori circa le problematiche riguardanti l'inquinamento dell'ecosistema.

Esaminando la situazione nel nostro Paese, si può notare come il corretto smaltimento dei rifiuti sia stato e sia tuttora un grosso problema ancora da risolvere, come testimoniano i recenti avvenimenti accaduti in Campania.

Per evitare che tali situazioni possano ripetersi, le strutture preposte al controllo ed alla raccolta dei materiali di scarto stanno cercando di sensibilizzare sempre più i cittadini sull'importanza della raccolta differenziata.

Esistono di fatto due tipi di raccolta dei rifiuti:

- **indifferenziata;**
- **differenziata.**

Il primo caso è sicuramente meno impegnativo e costoso da attuare, ma è un sistema che non consente il riciclo di alcun materiale e porta al totale riversamento dei rifiuti nelle discariche, senza alcun tipo di recupero.

Il secondo caso, invece, è il sistema di raccolta migliore e quello che tutti dovrebbero eseguire, dato che porta al riciclo e riutilizzo di gran parte dei rifiuti per la produzione di nuovi beni; di contro richiede una maggior attenzione da parte del cittadino che non potrà gettare tutti gli scarti in un unico bidone, ma dovrà separare accuratamente i vari componenti in base alla loro natura: carta, vetro, plastica, alluminio, etc... . In aggiunta, la differenziazione dei materiali di scarto comporta maggiori costi di gestione in quanto la raccolta deve essere organizzata in più giorni durante la settimana e con utilizzo di veicoli appositi in base al singolo materiale.

2 LA DISCARICA

Si definiscono *discariche* i siti ove vengono stoccati, in maniera permanente e non selezionata, i rifiuti urbani derivanti dalle attività umane e industriali (*Fig. 2.1*).



Figura 2.1 = Esempio di discarica per raccolta indifferenziata

Questo metodo di smaltimento viene attuato per i rifiuti che non si possono (o non si vogliono) riciclare e per quelli non smaltiti tramite gli inceneritori.

In base all'art. 4 del Dlgs 36/2003 “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti” l'Italia recepisce la Direttiva Europea sopracitata che prevede la suddivisione delle discariche in 3 categorie:

- ✓ *Discarica per rifiuti inerti;*
- ✓ *Discarica per rifiuti pericolosi (tra cui ceneri e scarti degli inceneritori);*
- ✓ *Discarica per rifiuti non pericolosi (tra i quali gli RSU, ossia i Rifiuti Solidi Urbani).*

Viene riportato in “*Tabella 2.1*” l'elenco dei rifiuti ammessi in discarica e, di seguito, l'elenco dei rifiuti non ammessi. La “*tabella 2.2*” evidenzia le concentrazioni massime di elementi nell'eluato in base ai tre tipi di discarica.

<i>Rifiuti ammessi nella discarica per inerti</i>	
Scarti di ceramica, mattoni, mattonelle e materiali da costruzione (sottoposti a trattamento termico)	
Scarti di materiali in fibra a base di vetro	Solo se privi di leganti organici
Imballaggi in vetro	
Cemento	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione
Mattoni	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione
Mattonelle e ceramiche	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione
Miscugli di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche	Solamente i rifiuti selezionati da costruzione e demolizione
Vetro	
Terra e rocce	Esclusi i primi 30cm di suolo e la torba e purché non provenienti da siti contaminati
Vetro	Solamente vetro raccolto separatamente
Terra e rocce	Solo rifiuti di giardini e parchi, eccetto terra vegetale e torba

Tabella 2.1 = Rifiuti ammessi nella discarica per inerti secondo D.M. 27 settembre 2010 (Art. 5)

Rifiuti non ammessi in discarica:

...

- *Rifiuti allo stato liquido;*
- *Rifiuti classificati come esplosivi (H1), comburenti (H2) e infiammabili (H3-A e H3-B), ai sensi dell'allegato I al d.lgs. n. 22 del 1997;*
- *Rifiuti contenenti una o più sostanze corrosive classificate come R35 in concentrazione totale $\geq 1\%$;*
- *Rifiuti contenenti una o più sostanze corrosive classificate come R34 in concentrazione totale $> 5\%$;*
- *Rifiuti sanitari pericolosi a rischio infettivo – categoria di rischio H9 ai sensi dell'allegato I al d.lgs. n. 22 del 1997 e ai sensi del D.M. 26 giugno 2000, n. 219;*
- *Rifiuti che rientrano nella categoria 14 dell'allegato G1 al Dlgs n. 22 del 1997;*
- *Rifiuti della produzione di principi attivi per biocidi, come definiti ai sensi del Dlgs 25 febbraio 2000, n. 174, e per prodotti fitosanitari come definiti dal Dlgs 17 marzo 1995, n. 194;*

- *Materiali specifici a rischio di cui al D.M. 29 settembre 2000, e successive modificazioni, e materiali ad alto rischio disciplinati dal Dlgs 14 dicembre 1992, n. 508 (si veda ora il regolamento (CE) n.1774/2002), comprese le proteine animali e i grassi fusi da esse derivati;*
- *Rifiuti che contengono o sono contaminati da PCB (Policlorobifenili), come definiti dal Dlgs 22 maggio 1999, n. 209, in quantità superiore a 50 ppm;*
- *Rifiuti che contengono o sono contaminati da diossine e furani in quantità superiore a 10 ppb;*
- *Rifiuti che contengono fluidi refrigeranti costituiti da CFC e HCFC, o rifiuti contaminati da CFC e HCFC in quantità superiore al 0,5 % in peso riferito al materiale di supporto;*
- *Rifiuti che contengono sostanze chimiche non identificate o nuove provenienti da attività di ricerca, di sviluppo o di insegnamento, i cui effetti sull'uomo e sull'ambiente non siano noti;*
- *Pneumatici interi fuori uso (con decorrenza 16 luglio 2003), esclusi quelli usati come materiale d'ingegneria e quelli fuori uso triturati (a partire da tre anni dalla data sopracitata), esclusi, comunque, in entrambi i casi quelli per biciclette e quelli con un diametro esterno superiore a 1400 mm;*
- *Rifiuti con PCI (Potere calorifico inferiore) > 13.000 kJ/kg (a partire dal 1/1/2011 salvo ulteriore rinvio).*

...

(Dlgs 36/2003, Art. 6, Comma 1)

<i>Limite di concentrazione nell'eluato per l'accettabilità in discariche per:</i>			
	Inerti	Pericolosi	Non pericolosi
	L/S=10 1/kg mg/l	L/S=10 1/kg mg/l	L/S=10 1/kg mg/l
As	0.05	2.5	0.2
Ba	2	30	10
Cd	0.004	0.5	0.1
Cr tot.	0.05	7	1
Cu	0.2	10	5
Hg	0.001	0.2	0.02
Mo	0.05	3	1
Ni	0.04	4	1
Pb	0.05	5	1
Sb	0.006	0.5	0.07
Se	0.01	0.7	0.05
Zn	0.4	20	5
Cloruri	80	2500	2500
Fluoruri	1	50	15
Solfati	100	5000	5000
Indice fenolo	0.1	/	/
DOC	50	100	100
TDS	400	10000	100000

Tabella 2.2 = Limiti di concentrazione degli elementi nell'eluato secondo DM 27 settembre 2010 (Art. 5)

L'inquinamento prodotto da questi tre tipi di discarica deriva principalmente dalla formazione di gas serra (quali anidride carbonica e metano) e di percolato (liquido derivante dalla decomposizione anaerobica della sostanza umida o dal dilavamento degli inquinanti dovuto alla pioggia).

Il rischio di sviluppo di questi agenti inquinanti è maggiore nel caso di:

- ✚ stoccaggio di rifiuti non correttamente trattati;
- ✚ discariche di vecchia costruzione;
- ✚ discariche abusive.

Nelle discariche di ultima generazione, invece, la dispersione nell'ambiente di tali contaminanti è ridotta al minimo grazie alla costruzione di sistemi di recupero dei gas (specialmente del metano che può essere riutilizzato per produrre energia) e raccolta del percolato tramite sistemi di drenaggio adeguati, permettendo in seguito di trattare e depurare le acque contaminate.

Per ridurre ulteriormente la produzione di agenti contaminanti e dannosi, prima dello stoccaggio i rifiuti possono essere sottoposti a particolari trattamenti:

1. **Meccanico a freddo** = il rifiuto viene “setacciato” in apposite strutture in modo da poter recuperare la maggior parte della frazione organica presente e separare, ove possibile, i materiali recuperabili e riciclabili. In questa maniera viene leggermente ridotta la quantità di materiale da stoccare ed il rischio che si possano creare gas serra e percolato diminuisce notevolmente;
2. **Termico** = il rifiuto viene sottoposto a trattamenti termici veri e propri quali pirolisi (processo di decomposizione termochimica dei materiali organici), gassificazione (processo che trasforma il carbonio in monossido di carbonio, idrogeno ed altri composti gassosi) o

combustione (processo di ossidoriduzione con produzione di energia e composti quali anidride carbonica e acqua).

Quest'ultimo metodo è il più attuato in Europa grazie alla diffusione dei termovalorizzatori che permettono di ottenere acqua calda e/o elettricità.

2.1 REALIZZAZIONE DI UNA MODERNA DISCARICA

Per la realizzazione di una discarica vi sono diversi accorgimenti da seguire, sia prima, che durante, che dopo la sua costruzione.

Innanzitutto bisogna trovare una collocazione idonea alla sua costruzione; questa procedura è definita a termini di legge nel Decreto Legislativo 36/2003 in cui sono riportati i principali vincoli in base al tipo di discarica:

A. IMPIANTI DI DISCARICA PER RIFIUTI INERTI:

omissis ...

Le discariche non devono essere normalmente localizzate:

- in corrispondenza di doline, inghiottitoi o altre forme di carsismo superficiale;*
- in aree dove i processi geologici superficiali quali l'erosione accelerata, le frane, l'instabilità dei pendii, le migrazioni degli alvei fluviali potrebbero compromettere l'integrità della discarica stessa;*
- in aree esondabili, instabili e alluvionabili; deve, al riguardo, essere presa come riferimento la piena con tempo di ritorno minimo pari a cinquant'anni (le Regioni possono deliberare eventuali modifiche al valore da adottare per il tempo di ritorno sopra riportato in accordo con l'Autorità di bacino, laddove costituita);*
- aree naturali protette sottoposte a misure di salvaguardia ai sensi dell'articolo 6, comma 3, della legge 6 dicembre 1991, n. 394 (le Regioni possono, con provvedimento motivato, autorizzare la realizzazione delle discariche per inerti nei siti di cui al comma precedente).*

La discarica può essere autorizzata solo se le caratteristiche del luogo, per quanto riguarda le condizioni di cui sopra, o le misure correttive da adottare, indicano che la discarica stessa non costituisca un grave rischio ecologico.

Per ciascun sito di ubicazione devono essere valutate le condizioni locali di accettabilità dell'impianto in relazione ai seguenti parametri:

- distanza dai centri abitati;*
- fascia di rispetto con riferimento a strade, autostrade, gasdotti, oleodotti, elettrodotti, cimiteri, ferrovie, beni militari;*

Nell'individuazione dei siti di ubicazione sono da privilegiare le aree degradate da risanare e/o da ripristinare sotto il profilo paesaggistico.

...

(Estratto da DLgs. 36/2003)

B. IMPIANTI PER RIFIUTI PERICOLOSI E NON:

omissis ...

Gli impianti non vanno ubicati di norma:

- in aree interessate da fenomeni quali faglie attive, aree a rischio sismico di 1^a categoria così come classificate dalla legge 2 febbraio 1974, n. 64, e provvedimenti attuativi, e aree interessate da attività vulcanica, ivi compresi i campi solfatarici, che per frequenza ed intensità potrebbero pregiudicare l'isolamento dei rifiuti;*
- in corrispondenza di doline, inghiottitoi o altre forme di carsismo superficiale;*
- in aree dove i processi geologici superficiali quali l'erosione accelerata, le frane, l'instabilità dei pendii, le migrazioni degli alvei fluviali potrebbero compromettere l'integrità della discarica e delle opere ad essa connesse;*
- in aree soggette ad attività di tipo idrotermale;*
- in aree esondabili, instabili e alluvionabili; deve, al riguardo, essere presa come riferimento la piena con tempo di ritorno minimo pari a duecento anni (le Regioni definiscono eventuali modifiche al valore da adottare per il tempo di ritorno in accordo con l'Autorità' di bacino*

laddove costituita).

Con provvedimento motivato le regioni possono autorizzare la realizzazione di discariche per rifiuti non pericolosi nei siti sopradescritti.

La discarica può essere autorizzata solo se le caratteristiche del luogo, per quanto riguarda le condizioni di cui sopra, o le misure correttive da adottare, indichino che la discarica non costituisca un grave rischio ecologico.

Per ciascun sito di ubicazione devono essere esaminate le condizioni locali di accettabilità dell'impianto in relazione a:

- distanza dai centri abitati;*
- collocazione in aree a rischio sismico di 2^a categoria così come classificate dalla legge 2 febbraio 1974, n. 64, e provvedimenti attuativi, per gli impianti di discarica per rifiuti pericolosi sulla base dei criteri di progettazione degli impianti stessi;*
- collocazione in zone con prodotti agricoli ed alimentari definiti ad indicazione geografica o a denominazione di origine protetta ai sensi del regolamento (CEE) n. 2081/92 e in aree agricole in cui si ottengono prodotti con tecniche di agricoltura biologica ai sensi del regolamento (CEE) n. 2092/91;*
- presenza di rilevanti beni storici, artistici, archeologici.*
- ...*

(Estratto da DLgs. 36/2003)

Una volta definita la zona che verrà adibita a discarica ed aver accertato che vengano rispettati tutti i parametri sopracitati, inizia la costruzione vera e propria.

Il primo elemento ad esser realizzato è il letto della discarica. Esso copre un ruolo molto importante in quanto deve evitare lo spargimento in profondità del percolato e delle altre sostanze che potrebbero inquinare le falde acquifere.

A tale scopo viene innanzitutto steso uno strato delimitante composto da materiali-barriera naturali o sintetici.

Tra i materiali naturali più utilizzati troviamo argilla e bentonite che sono in grado di adsorbire gli inquinanti contenuti nel percolato per scambio ionico, riducendo il rischio di dilavamento in falda.

I parametri che determinano la qualità impermeabilizzante degli stessi sono:

- la conduttività idraulica
- il grado di compattazione
- il contenuto di acqua
- la tecnica di posa
- lo spessore dello strato.

Tra i materiali sintetici troviamo invece i teli geosintetici quali geomembrane, geotessili, geogriglie, georeti e geocomposti che, a differenza dei materiali naturali, sono spesso molto più semplici da reperire in quanto prodotti dall'uomo, meno ingombranti e voluminosi nel trasporto, più semplici nella posa in opera e a volte più funzionali ed efficaci di quelli naturali.

In "Tabella 2.1" sono riportate le caratteristiche dei materiali suddetti utilizzabili per l'impermeabilizzazione.

	Impermeabilizzazione	Filtrazione Percolato	Drenaggio Percolato	Rinforzo	Protezione Meccanica	Separazione	Controllo Erosione	Filtrazione Acqua	Drenaggio Acqua	Raccolta Biogas
<i>Materiali Naturali</i>										
BT - Sabbia / bentonite	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□
CL - Argilla	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□
SD - Sabbia	□	○	○	□	●	□	□	●	●	●
GV - Ghiaia	□	●	●	□	○	□	●	●	●	●
ST - Ciottoli	□	●	●	□	□	□	●	○	○	○
<i>Materiali Sintetici</i>										
GM - Geomembrana	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□
GT - Geotessile	□	○	□	●	●	●	□	●	□	□
GN - Georete	□	□	●	●	○	○	○	□	●	□
GG - Geogriglia	□	□	□	●	□	□	□	□	□	□
GM - Geomat	□	□	●	□	□	□	□	□	○	●
GC - Geocomposto										
a. geotessile + geomat	□	○	○	□	□	□	□	□	○	●
b. geotessile + bentonite	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□
c. geotessile + georete	□	□	○	□	○	□	□	□	●	○

Tabella 2.1 = Caratteristiche dei materiali impermeabilizzanti

Solitamente le configurazioni maggiormente adottate sono (scendendo di profondità): argilla - terreno di fondazione, geomembrana – argilla - terreno di fondazione e geomembrana - letto drenante – geomembrana – argilla - terreno di fondazione. Con le configurazioni suddette si ottimizzano tutte le caratteristiche degli elementi, facendo sì che tali disposizioni vadano a compensare eventuali loro aspetti negativi.

Successivamente si dovrà realizzare il sistema di drenaggio delle acque ad infiltrazione laterale; quest'ultimo serve ad annullare le spinte idrostatiche che si creano tra l'acqua contenuta nel terreno attorno alla discarica ed il sistema di isolamento della stessa.

Di tale sistema se ne possono costruire di due tipi:

- sistema di drenaggio lungo le sponde;
- sistema di drenaggio lungo il perimetro o “*trincea di drenaggio*”.

Nel primo caso si realizza uno strato perimetrale che favorisca la percolazione dell'acqua del terreno circostante la discarica nel sistema di raccolta e allontanamento; nel secondo caso si realizza una “*trincea*” a pochi metri dal perimetro della discarica in modo da favorire la raccolta dell'acqua superficiale e laterale presente nel terreno all'interno della stessa, dalla quale sarà poi allontanata tramite apposito sistema di pompaggio attraverso una rete di tubazioni.

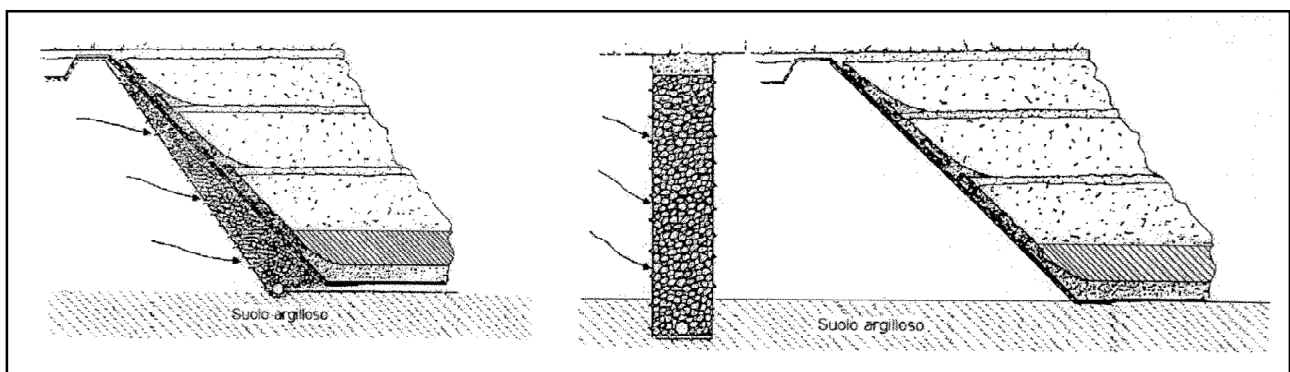


Figura 2.2 = Esempio delle strutture di raccolta dell'acqua all'esterno della discarica

Realizzato uno dei due sistemi sopracitati (entrambi efficaci allo stesso modo), si procede con la costruzione all'interno della discarica del sistema di drenaggio del percolato vero e proprio.

L'attenzione per la progettazione di questa componente deve essere elevata dato che tale sistema evita problemi di ristagni e infiltrazioni in profondità del liquido interessato.

Il sistema è molto semplice da realizzare: si basa sulla collocazione sul fondo della discarica di tubi forati di vario diametro (dai 300mm per i rami principali ai 150mm per i rami secondari di raccolta) e di vario materiale (grès per discariche non più alte di 8mt e plastica flessibile molto resistente per altezze superiori) per poi procedere alla loro copertura con materiali porosi, quali sabbia e/o ghiaia.

Solitamente il materiale più usato è la ghiaia con diametro compreso tra i 16 e i 32mm in quanto fornisce risultati migliori.

A mano a mano che la discarica viene riempita di rifiuti, verranno aggiunti altri tubi ad intervalli di altezza regolari in modo tale da non far ricadere il compito di smaltimento del percolato su un'unica rete di tubazioni ed ottimizzare, inoltre, la raccolta dello stesso anche negli strati più superficiali.

Nonostante la facilità di realizzazione la posa in opera delle tubazioni deve essere molto accurata: bisognerà creare una giusta pendenza (almeno dell'1%, meglio se del 2%) per favorire il ruscellamento del percolato ed evitare così rischi di ristagni e occlusioni delle tubazioni.

Esiste anche un sistema di captazione del percolato tramite pozzi verticali.

Esso è costituito da un sistema di tubazioni poste verticalmente, in rete elettrosaldata o lamiera traforata, del diametro di 80 cm, ai quali viene collegata una serie di condotti orizzontali di minore grandezza che aumenteranno la superficie utile per la raccolta dei liquidi. Il fondo della struttura verticale viene poi collegato al sistema di drenaggio principale che raccoglie tutto il percolato dai vari pozzi e lo convoglia verso il sistema di stoccaggio e/o depurazione.

Realizzato il sistema di tubazioni alla base della discarica si dovrà costruire il pozzo principale di raccolta e stoccaggio del percolato che sosterrà nelle vasche fino all'invio all'impianto di depurazione.

Questa struttura deve rispettare le seguenti regole di realizzazione:

- ✓ essere accessibile per eventuali ispezioni;
- ✓ avere la base di calcestruzzo rinforzato;
- ✓ avere un dispositivo per captare il biogas;
- ✓ avere le pareti composte da calcestruzzo o vetroresina o *HDPE* (“*high-density polyethylene*”, materiale plastico molto resistente alla corrosione).

Ultimate tutte queste strutture, rispettando i regolamenti vigenti in materia, la discarica può considerarsi “*utilizzabile*”.

Una volta raggiunta la capienza massima, si dovrà quindi procedere con la chiusura dello stabilimento.

Questa fase deve rispettare i seguenti criteri:

- limitare la produzione di percolato attraverso la riduzione dell'infiltrazione delle acque piovane;
- controllare l'eventuale flusso di biogas che si produce in seguito alle fermentazioni anaerobiche che si instaurano spontaneamente tra i detriti;
- isolare i rifiuti dall'ambiente esterno attraverso l'utilizzo di teli o coperture idonee;
- consentire la crescita della vegetazione attorno e sopra lo stesso sito (allo scopo lo strato di terreno superficiale deve essere superiore al metro di altezza e lo strato drenante maggiore o uguale a mezzo metro di altezza).

La tecnica di copertura e i materiali utilizzati devono inoltre essere molto resistenti ai fenomeni erosivi e devono assecondare nel tempo gli assestamenti della massa dei rifiuti sottostanti.

Se i rifiuti che sono andati a colmare la discarica sono completamente esenti da sostanza organica non ci saranno problemi di sviluppo di gas serra; se invece i rifiuti non sono stati trattati correttamente si avrà produzione di biogas dovuta a fermentazioni anaerobiche.

Il gas metano prodotto potrà tuttavia essere recuperato attraverso appositi impianti ed utilizzato per produrre energia elettrica, riducendo allo stesso tempo le emissioni dannose nell'atmosfera.

Sfortunatamente la capacità di intercettazione del metano che si crea nel tempo non è totale ma si aggira attorno ad un valore pari al 40%.

Dopo la chiusura del sito si dovrà comunque procedere all'effettuazione di periodici controlli (ad esempio qualità e quantità di emissioni dei gas e di percolato) per almeno 30 anni.

Nel frattempo la zona potrà essere utilizzata per altri scopi come ad esempio la realizzazione di un'area verde.

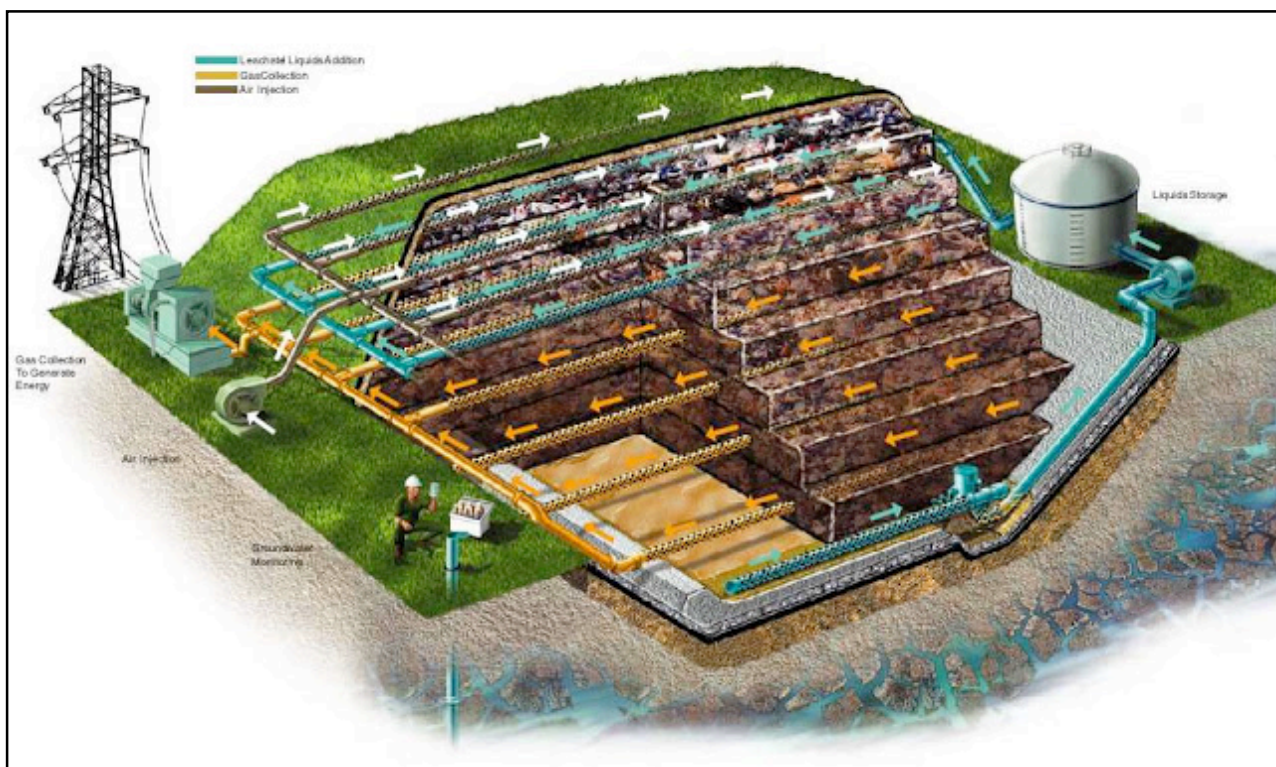


Figura 2.3= Esempio della struttura di una moderna discarica

3 CENNI SULLA RACCOLTA DIFFERENZIATA

In questi ultimi anni, sia per disposizioni di leggi sempre più severe imposte dall'Unione Europea e dallo stesso Stato Italiano, sia per la crescente attenzione per l'ambiente, la percentuale di rifiuti trattati con la raccolta differenziata è in continuo aumento.

La raccolta differenziata, come detto in precedenza, è un metodo eco-sostenibile di smaltimento dei rifiuti urbani che consente il recupero separato di gran parte dei materiali che vengono normalmente gettati e ridurre al minimo la quantità di pattume stoccata nelle discariche.



Figura 3.1 = Esempio di bidoni per la raccolta differenziata

Il risultato della raccolta differenziata divide l'Italia in due aree: al nord più del 50% dei rifiuti viene differenziato con successo; al sud si raggiunge una media di “appena” il 27% (fonte: rapporto Rifiuti Ispra 2013).

La media nazionale si aggira circa attorno al 40%.

Nello caso specifico del Veneto, la raccolta differenziata raggiunge il 62.6%.



Figura 3.2 = Mappa differenziata In Italia (fonte: ISPRA 2012)

La raccolta differenziata, oltre a permettere come già accennato di recuperare separatamente vari materiali che possono essere riutilizzati, favorisce:

1. la riduzione del numero di discariche/inceneritori;
2. l'aumento del riciclo dei materiali con conseguente riduzione dell'inquinamento atmosferico;
3. la soluzione di tutte le problematiche derivanti dalle discariche e delle spese per l'estrazione di nuovi materiali come ad esempio ferro e alluminio.

Curiosità

*Per produrre una tonnellata di **carta** usando materia prima occorrono 15 alberi, 440mila litri di acqua e 7.600Kw/h di energia elettrica. Usando carta riciclata invece occorrono 0 alberi, 1.800 litri d'acqua e 2.700Kw/h di energia elettrica.*

*Riciclando una **lattina** si risparmia l'energia necessaria per tenere accesa 3 ore una tv da 14", con 800 lattine si ottiene una bicicletta, con 37 lattine si produce una caffettiera, e con 70 lattine si produce una padella.*

*Riciclando 100kg di **vetro** si producono 100kg di nuovo vetro; se invece si partisse dalla materia prima servirebbero 120kg di materia grezza per produrre 100kg di vetro finito e inoltre si consumerebbe il 20% in più di energia causando così maggiori emissioni in atmosfera.*

4 IL PERCOLATO

Con il termine “*percolato*”, come già accennato, si indica la frazione liquida che si crea dall’infiltrazione dell’acqua piovana nella discarica e dalla fermentazione anaerobica della sostanza organica.

Insieme al biogas esso rappresenta il principale rischio di inquinamento ambientale. Se questo liquido non fosse bloccato dallo strato impermeabile alla base della discarica e non fosse recuperato e trattato attraverso appositi sistemi drenanti, si rischierebbe che molti elementi inquinanti e tossici derivanti dai rifiuti finissero in profondità nel terreno, inquinando anche le falde acquifere sottostanti.



Figura 4.1 = esempio di percolato

I parametri che influenzano la quantità di percolato prodotto sono:

- temperatura (basse temperature rallentano i processi anaerobi nella massa, diminuendo così la produzione di percolato);
- pioggia ed altri eventi atmosferici (piovosità poco intense ma molto durevoli, ad esempio, aumentano notevolmente l’infiltrazione di acqua nella discarica);
- quantità di S.O. (Sostanza Organica) presente nei rifiuti.

Esaminando questi fattori si può rilevare che:

- + la quantità di precipitazioni rappresenta un aspetto sicuramente *incontrollabile*;
- + il ruscellamento sulla superficie dello scarico, l’evapotraspirazione e l’umidità dei rifiuti rappresentano aspetti *controllabili*;
- + il ruscellamento superficiale dall’esterno, la sostanza organica contenuta nell’immondizia, le infiltrazioni da corpi idrici superficiali e la risalita dalle falde sotterranee rappresentano fattori *eliminabili*.

I parametri qualitativi, per contro, che si analizzano per monitorare eventuali dispersioni di agenti inquinanti sono solitamente pH, BOD₅, COD e contenuto di metalli.

Di questi: il pH rappresenta l'acidità o la basicità della soluzione; la BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*) rappresenta la quantità di O₂ utilizzata in cinque giorni dai microrganismi per decomporre, al buio e ad una temperatura di 20°C, le sostanze organiche presenti nel percolato; la COD rappresenta la quantità di O₂ utilizzata per la completa ossidazione delle sostanze organiche per via chimica (analisi molto più veloce della BOD₅).

Per il normale smaltimento del percolato sono richieste apposite metodologie ed accorgimenti, tenuto conto che il suo eventuale rilascio nell'ambiente porterebbe alla dispersione di elementi e sostanze pericolose sia per l'ecosistema che per l'uomo.

4.1 COMUNE SMALTIMENTO DEL PERCOLATO

La gestione del percolato è anch'essa regolamentata dal Dlgs 36/2003 nell'allegato 1 punto 2.3 dove si riporta che: “... *il percolato e le acque di discarica devono essere captati, raccolti e smaltiti per tutto il tempo di vita della discarica, secondo quanto stabilito nell'autorizzazione, e comunque per un tempo non inferiore a 30 anni dalla data di chiusura definitiva dell'impianto ...*”.

Il sistema di raccolta del percolato deve essere progettato e gestito in modo da:

- ❖ minimizzare il battente idraulico della sostanza sul fondo della discarica al minimo compatibile con i sistemi di sollevamento e di estrazione;
- ❖ prevenire intasamenti ed occlusioni per tutto il periodo di funzionamento previsto della discarica;
- ❖ resistere all'attacco chimico dell'ambiente della discarica;
- ❖ sopportare i carichi previsti.

Il metodo di smaltimento del percolato è regolato in base al codice CER (*Catalogo Europeo dei Rifiuti*), nello specifico dal codice CER 190702 se tale sostanza risulta pericolosa e dal codice CER 190700 se non risulta pericolosa.

Il percolato e le acque raccolte devono essere comunque trattate in un impianto tecnicamente idoneo, al fine di garantirne lo scarico di acqua depurata con riguardo ai limiti previsti dalla normativa vigente in materia e nel pieno rispetto dell'ambiente.

Esiste anche la tecnica di concentrazione del percolato che può tuttavia essere autorizzata solo nel caso in cui contribuisca all'abbassamento del relativo battente idraulico; in questo caso il concentrato può tranquillamente rimanere confinato all'interno della discarica.

Per il trattamento del percolato esistono due principali metodologie:

- ✚ tecniche biologiche
- ✚ tecniche chimico-fisiche.

Le tecniche biologiche sono le più utilizzate perché presentano bassi costi e alte efficienze. Nell'ambito di queste metodologie si possono fare due distinzioni sul tipo di trattamento che può essere effettuato e cioè “*anaerobio*” o “*aerobio*”.

Entrambi i metodi si basano sulla sedimentazione degli elementi solidi e sull'azione dell'abbattimento della COD. La differenza sostanziale sta però nel fatto che il metodo anaerobio abbassa al massimo il tenore di COD del 90% e non fa variare il contenuto di ammoniaca, mentre quello aerobio può abbassare il tenore di COD anche del 98-99% e riduce il contenuto di N-NH₄ anche più del 90%.

Nel processo anaerobio, inoltre, se il rapporto TKN/COD è troppo elevato si rischia che i processi di purificazione del percolato non avvengano in modo efficiente.

Le tecniche di trattamento con mezzi chimico-fisici si basano invece principalmente sulla separazione e concentrazione degli inquinanti, i quali verranno successivamente inceneriti e re-immessi in discarica o ri-trattati.

Di seguito si riporta un elenco dei principali metodi chimico-fisici di smaltimento del percolato:

- a) **Flocculazione** = Processo che favorisce la precipitazione delle sostanze tramite l'aggiunta di altri elementi come Calce, Sali di Ferro e Alluminio. L'abbassamento di COD risulta scarso e tale pratica deve essere effettuata in combinazione con altre tecniche.
- b) **Adsorbimento** = consiste nell'accumulo di sostanze sulla superficie di un condensato. Questa tecnica può consentire la riduzione della COD anche dell'85%, ma non risulta sempre fattibile poiché la sua efficienza dipende dal tipo di percolato. Le molecole troppo piccole, infatti, non vengono trattenute mentre quelle troppo grandi riducono la capacità assorbente.
- c) **Trattamenti di ossidazione chimica** = sfruttano l'utilizzo di perossido di idrogeno (H₂O₂) accoppiato a raggi UV, o di ozono.

L'efficacia di riduzione della COD è elevata ma l'ossidazione non è completa per cui richiede un successivo trattamento (solitamente biologico).

- d) **Ossidazione in umido** = consiste nel mettere a contatto la sostanza da ossidare con l'ossigeno liquido. Ciò avviene in un ambiente controllato con elevate temperature (150/360°C) e alte pressioni (30/250 bar). Indipendentemente dal rapporto d'ingresso, il rapporto in uscita tra BOD₅ e COD del percolato è sempre 0.9.
- e) **Osmosi inversa** = è un processo che forza il passaggio delle molecole attraverso una membrana, dalla soluzione più concentrata a quella meno concentrata. Si sono riscontrate riduzioni della COD anche del 90% e dell'azoto ammoniacale anche dell'80%. Lo svantaggio è che da questo trattamento si ottiene un eluato altamente concentrato che solitamente viene immesso nuovamente in discarica.
- f) **Evaporazione** = è un processo che sfrutta la separazione solida da quella liquida tramite lo sviluppo di calore. Il distillato che si crea è ricco di vapori di ammoniaca e composti clorurati. È un trattamento che può essere effettuato su qualsiasi tipo di percolato
- g) **Stripping** = metodo utilizzato per far passare l'ammoniaca dalla fase liquida a quella gassosa. Il problema principale è che questo processo richiede valori predefiniti di pH pari a 11-12. Per questo motivo è preferibile rimuovere l'ammoniaca tramite mezzi biologici.

5 LA FITODEPURAZIONE

Per “*fitodepurazione*” si intende il processo di depurazione delle acque di scarico di varia origine (industriale, agricola, cittadina, ecc...) tramite processi biologici che combinano piante, microrganismi e terreni, che fungono da filtro naturale.

Già nell’antichità questa tecnica di purificazione delle acque veniva utilizzata anche se non se ne conoscevano bene i principi che stavano alla base del fenomeno.

È grazie agli studi e alle sperimentazioni che sono stati effettuati dagli anni ’50 in poi che si è venuti sempre più a conoscenza dei processi che regolano questo sistema naturale di filtrazione e bonifica delle acque.

In Italia, all’inizio degli anni ’70, questa tecnica è stata seguita in principio con molto interesse per poi essere via via accantonata a causa dei bassi riscontri positivi che si erano ottenuti. Vi è stata poi una ripresa d’interesse nei primi anni ’90 fino ad arrivare ad oggi in cui la fitodepurazione trova sempre un più vasto impiego.

Nonostante richieda una maggior superficie di realizzazione a parità di volume trattato rispetto ai comuni sistemi di purificazione delle acque, la fitodepurazione può vantare due principali punti di forza, ovvero bassi costi di realizzazione/gestione ed elevata efficienza.

Si possono elencare anche altri vantaggi che si vengono a creare dalla realizzazione di un impianto di fitodepurazione:

- manutenzione effettuabile anche da parte di personale non specializzato;
- maggiore resistenza agli shock di carico organico ed idraulico (grazie ai lunghi tempi di ritenzione idraulica);
- possibilità di ottenere sottoprodotti vegetali riutilizzabili;
- alta efficienza nella rimozione degli inquinanti (es. N e P) e dei batteri patogeni;
- bassi consumi energetici e limitati costi di gestione;
- possibilità di fungere da zone didattiche, di ricerca ed educazione;

- ottima integrazione con l'ambiente naturale grazie alla sua piacevolezza estetica rispetto agli impianti tradizionali;
- aumento della biodiversità grazie al miglioramento delle condizioni ambientali;
- incremento delle attività legate al cosiddetto “*ecoturismo*” quali pesca, caccia, bird-watching e fotografia.

Il fatto che questo sistema di purificazione delle acque non richieda aggiunta di energia proveniente dall'esterno come elettricità e simili fa sì che il suo funzionamento sia totalmente eco-compatibile.

Grazie alla sua efficienza, inoltre, la fitodepurazione viene definita nel Dlgs 152/06 come una delle tecniche fortemente consigliate per trattare le acque.

Viene a tal proposito riportato che:

“... per tutti gli insediamenti con popolazione compresa tra 50 e 2000 abitanti equivalenti, si ritiene auspicabile il ricorso a tecnologie di depurazione quali il lagunaggio o la fitodepurazione (<50 a.e. a discrezione del comune, regolamenti comunali, etc.) ...”.

(Estratto da DLgs. 152/06)

Grazie alla sua semplicità di realizzazione e manutenzione, questo tipo di impianto per la purificazione delle acque è comunque realizzabile anche per singole abitazioni, senza grande richiesta di superficie (per una famiglia composta da 4 unità mediamente bastano circa 16m² di superficie adibita a fitodepurazione), o per strutture ad uso stagionale come baite, campeggi e case vacanze.

È bene precisare che esistono diverse classificazioni di sistemi fitodepurativi in base alla loro “*naturalità*”:

- ✓ naturali (come ad esempio zone palustri non disturbate);
- ✓ ricostruiti (come ad esempio gli areali tampone all'interno delle aree palustri e fluviali ripristinate);

- ✓ semi-naturali (come ad esempio le fasce tampone);
- ✓ artificiali (come ad esempio i letti di canne vegetali).

Per quanto riguarda la realizzazione dei bacini, la struttura di fitodepurazione può essere singola o in batteria. Nel secondo caso essa si divide a sua volta in sistema omogeneo o ad elementi diversi.

Il regime idrico, invece, si può suddividere in condizioni di sommersione, saturazione o insaturazione del terreno.

Per concludere l'argomento relativo alle varie tipologie di impianti, si precisa che il movimento dell'acqua può essere verticale o orizzontale.

Nella realizzazione dell'impianto bisogna inoltre considerare la tipologia di piante da utilizzare dato che non tutte si prestano correttamente a svolgere il compito di fitodepuratrici; negli impianti costantemente sommersi servono, ad esempio, piante con capacità di trasporto d'ossigeno anche nelle radici in modo tale da evitare problemi di asfissia e marciumi radicali che portano alla morte della pianta stessa.

Alcuni esempi di piante comunemente utilizzate nei sistemi di fitodepurazione sono: *Phragmites Australis* (canna palustre), *Scirpus Lacustris* (giunco di palude) e il *Miscanthus sinesi* (miscanto). Attualmente, inoltre, si sta sperimentando l'utilizzo di vegetali fitodepuratrici *no-food* adatti a questo compito.

Per quanto riguarda le componenti da rimuovere nel refluo troviamo: elementi tossici, inquinanti organici e fitonutrienti.

Gli elementi tossici non possono essere modificati dai processi biologici della pianta ma possono essere assorbiti e trattenuti dalla stessa, evitando la loro dispersione nel terreno. Esempi di elementi tossici sono arsenico, mercurio, piombo, zinco, etc.

Gli inquinanti organici, invece, vengono completamente mineralizzati e trasformati in composti non nocivi tramite i processi biologici che la pianta effettua.

Tra gli inquinanti organici troviamo elementi molto tossici come ad esempio la diossina e gli idrocarburi policiclici aromatici, ma anche altri composti meno

pericolosi derivanti da reflui agricoli o urbani, degni comunque di attenzione poiché si trovano in concentrazioni elevate.

Tali inquinanti sono caratterizzati da un elevato valore di BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*) che potrebbe causare problemi quali ipossia o anossia dei corsi d'acqua (rispettivamente carenza o totale assenza di ossigeno). Inoltre il loro alto contenuto di nutrienti provoca un rapido aumento delle alghe, conseguente aumento degli organismi che se ne nutrono, fino ad arrivare, a causa del loro eccessivo sviluppo, al collasso del sistema dovuto al surplus di richiesta di ossigeno rispetto a quello disponibile.

L'utilizzo periodico di acque di scarsa qualità può comportare diversi inconvenienti alle piante interessate; ad esempio: un accumulo eccessivo di sostanze tossiche può portare a moria la pianta, mentre un elevato contenuto di sali disciolti nell'acqua può portare a un aumento della salinità del terreno.

5.1 REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI FITODEPURAZIONE

Per la realizzazione di un impianto di fitodepurazione è bene precisare che è necessario rispettare i vincoli disposti dai decreti regionali vigenti; ad esempio in Toscana si è stabilito che un impianto di fitodepurazione deve essere esteso su una superficie minima di 20m^2 .

Per iniziare la realizzazione di un impianto di fitodepurazione bisogna scegliere la collocazione in base al tipo di acque che dovranno essere trattate. Si possono, infatti, trattare con questa tecnica acque provenienti da scarichi casalinghi, industriali o semplicemente acque fluviali interessate da alti tassi di inquinanti.

Scelta la collocazione ideale si procede con gli scavi per creare il bacino di raccolta dell'impianto. La profondità e la superficie di scavo variano sia in base al quantitativo di acqua da trattare che al tipo di impianto. Durante le operazioni di “*movimento terra*” è bene avere l'accortezza di accatastare nelle vicinanze del sito il terreno che viene rimosso, in modo da poterlo riutilizzare in seguito durante la fase di riempimento del bacino realizzato.

Si possono considerare come valori indicativi di scavo per la profondità 80-100cm e per la superficie più di $20\text{m}^2/\text{A.E.}$ per gli impianti a flusso superficiale e $3.5\text{-}5\text{m}^2/\text{A.E.}$ per gli impianti a flusso sommerso.

Le pareti delle vasche possono essere verticali (sostenute tramite travi in legno) o inclinate; in quest'ultimo caso l'inclinazione si presenta genericamente attorno ad un valore di $45^\circ\text{-}60^\circ$.

Il valore degli A.E. è definito dall'articolo 74 comma 1 del Dlgs 152/06 e calcolato sul “... *carico organico biodegradabile avente una richiesta di ossigeno a 5 giorni (BOD_5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno ...*”.

Nella “*Tabella 5.1*” sono riportati i calcoli semplificati del numero di A.E. in base al tipo di struttura, in modo tale da dimensionare al meglio il futuro impianto di fitodepurazione.

Tipo di struttura	N° A.E.
Abitazione	1 A.E. ogni persona
Alberghi, Agriturismi, Villaggi turistici	1 A.E. ogni persona + 1 A.E. ogni 3 addetti
Campeggi	1 A.E. ogni 2 persone + 1 A.E. ogni 3 addetti
Ristoranti	1 A.E. ogni 3 coperti + 1 A.E. ogni 3 addetti
Bar	1 A.E. ogni 10 clienti + 1 A.E. ogni 3 addetti
Cinema, teatri, sale convegni	1 A.E. ogni 10 posti + 1 A.E. ogni 3 addetti
Scuole	1 A.E. ogni 6 alunni
Uffici, negozi, attività commerciali	1 A.E. ogni 3 impiegati
Fabbriche, laboratori	1 A.E. ogni 2 lavoratori

Tabella 5.1 = Calcolo dell'A.E. in base alla struttura

Si procederà con lo scavo di più bacini in caso di realizzazione di un impianto a più celle; queste possono essere collocate in serie o in parallelo.

Le celle in serie garantiscono una maggior purificazione delle acque ma quelle in parallelo consentono di trattare più acqua contemporaneamente e, nel caso in cui una di esse presentasse problemi di funzionamento come ad esempio perdite, si potrà escludere la cella interessata senza dover bloccare così l'intero impianto (cosa che bisognerebbe fare nel caso del sistema in serie).

Completata l'operazione di rimozione del terreno si procede con l'impermeabilizzazione del letto dell'impianto tramite l'utilizzo di manti bentonitici (*bentonite: materiale argilloso composto per la maggior parte da montmorillonite, calcio e sodio*) o manti sintetici quali LDPE, HDPE, EPDM e PVC, di spessore variabile tra gli 0.5 e 2 mm. Spesso tali impermeabilizzanti sono ricoperti sia nella parte superiore che in quella inferiore da uno strato di "tessuto-non-tessuto" in modo tale da assicurare alla membrana una certa protezione meccanica durante la successiva fase di riempimento con gli inerti. Importante è la preventiva creazione di uno strato di almeno 10mm di sabbia sul letto ove poserà la geomembrana impermeabilizzante.

L'utilizzo del cemento e dell'argilla sono sconsigliati perché nel primo caso si possono creare fratture nella struttura dovute ad assestamenti secondari, mentre nell'altro è richiesta un'elevatissima impermeabilità del materiale.

Per il riempimento della vasca si può scegliere tra due tecniche, in base al tipo di impianto che si vuole realizzare.

Nel caso di impianti a flusso orizzontale si procede creando un piccolo strato di terreno sul fondo e messa a dimora delle piante scelte per la fitodepurazione.

Nel caso di quelli a flusso sommerso verticale o orizzontale si procede al totale riempimento della vasca con materiali porosi e successiva messa a dimora delle piante.

Il flusso dell'acqua si presenterà differente nei due casi.

Nell'impianto a flusso superficiale l'acqua entra tramite un tubo in PVC o un canale, scorre superficialmente ed esce con la stessa tecnica.

In quello a flusso sommerso orizzontale l'acqua entra tramite un tubo in PVC che la riversa nell'impianto dove scorre sotto la superficie del terreno ed esce da un condotto collocato nel fondo.

Nell'impianto a flusso sommerso verticale, infine, l'acqua viene fatta entrare spargendola sulla superficie dell'impianto tramite tubi in PVC forati e poi recuperata e fatta uscire con tubi sempre in PVC, anch'essi forati, collocati sul fondo.

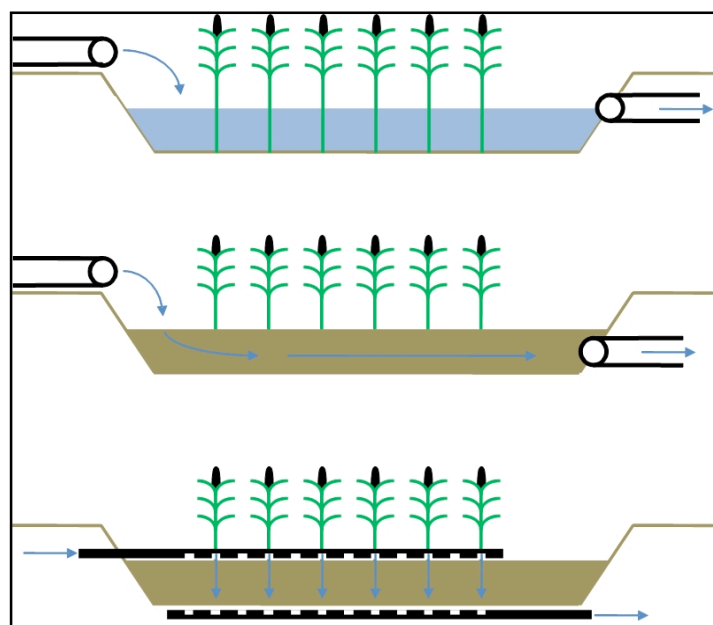


Figura 5.1: Illustrazione schematica degli impianti

Un ulteriore accorgimento da tener presente nella realizzazione di un impianto di fitodepurazione è la creazione di un sistema di filtraggio delle acque collocato a monte.

Nel caso in cui le acque da trattare siano provenienti da abitazioni, bisogna installare degli appositi pozzetti di trattamento dei liquidi, in modo da separare le componenti solide, quelle grasse e quelle oleose dall'acqua, senza però far innescare processi fermentativi anaerobici che porterebbero all'emanazione di cattivi odori.

Se invece le acque da trattare sono provenienti da fiumi, bacini o altri sistemi naturali, bisogna collocare una struttura composta da griglie che bloccano la componente solida (come rami e rifiuti).

Realizzato l'impianto, le uniche operazioni da svolgere periodicamente sono:

- il controllo della qualità delle acque in uscita dall'impianto;
- l'ispezione e lo svuotamento dei pozzetti primari (nel caso di pozzetti per la separazione delle componenti solide, grasse e oleose dall'acqua da trattare);
- l'allontanamento del materiale solido (nel caso di presenza di griglie a monte dell'impianto);
- l'ispezione del regolatore di livello.

6 MATERIALI E METODI

Il test è stato realizzato in una cella (Figura 6.1) del Laboratorio ISA (*Laboratorio di Ingegneria Sanitaria Ambientale*) del Dipartimento ICEA (*Ingegneria Civile, Edile e ambientale*) collocato in località Voltabarozzo (Pd), Lungargine Rovetta n° 8.

Si è optato per questa soluzione per poter meglio controllare i parametri di luce, temperatura e acqua così da non influenzare il risultato finale con fattori ambientali esterni.

Lo scopo del test consisteva nel verificare le reali possibilità di smaltimento del percolato tramite la fitodepurazione. Allo scopo, si è pianificato un programma di monitoraggio di un campione di piante che, settimanalmente, venivano trattate con una concentrazione di percolato, aggiunto nell'acqua di irrigazione, sempre maggiore.

Si è avuto inoltre la cura di monitorare un gruppo di piante collocate all'interno della cella (quindi sottoposte alle stesse condizioni di luce, temperatura e umidità) irrigate con sola acqua, per verificare se vi fossero differenze di sviluppo della biomassa.



Figura 6.1 = Cella ove è stato svolto l'esperimento

Per la messa a dimora delle piante sono stati usati dei grandi vasi muniti di rubinetto nel fondo in modo da poter raccogliere l'acqua di percolazione e poterne calcolare il volume ed analizzare gli elementi disciolti.

Il substrato ove erano piantate le essenze per il test era costituito da 10cm di ghiaia, sul fondo, ricoperta da 30cm di terreno fertile.

Il terreno utilizzato è stato prelevato presso l'azienda sperimentale dell'Università di Agraria di Padova "*Lucio Toniolo*" e in seguito analizzato per conoscere i dati al suo stato iniziale.

Il percolato utilizzato nella sperimentazione era proveniente dalla discarica di Mazzano, situata in provincia di Brescia.

Le piante utilizzate per la prova sono state girasole (*Helianthus annuus*) e soia (*Glycine max*).

La scelta di queste due essenze si è basata sul fatto che le stesse si adattano molto bene al clima del Nord Italia (specialmente la soia) e ciò le rende facilmente utilizzabili in pieno campo; inoltre i loro semi hanno un elevato contenuto in olio e ciò fa sì che in un futuro questa sperimentazione possa essere sviluppata ulteriormente ipotizzando l'utilizzo delle sementi per la produzione di biodiesel.

I semi sono stati fatti germinare in apposite vaschette contenenti terriccio in modo tale da avere un numero definito di piantine in ogni singola vasca.

La ripartizione delle piantine nelle 8 vasche totali ha comportato la messa a dimora di 36 piantine di soia e 36 di girasole, ripartite in gruppi omogenei di 9 per vasca.

Per soddisfare il fabbisogno di luce sono state utilizzate otto lampade che restavano accese dalle ore 6 alle ore 20 (NB: per evitare influenze esterne, le finestre della cella sono state completamente oscurate con teli neri).

La temperatura è stata controllata grazie ad un impianto di condizionamento che ha permesso di mantenerla ad un livello compresa tra i 24 e i 30 °C.



Figura 6.2 = Interno della cella

6.1 GIRASOLE

Si tratta di una pianta annuale appartenente alla famiglia delle Asteraceae (*Composite*) ed è originaria dell'America centrale (Messico).

È stata introdotta nel vecchio continente nel 1510 e fino al XVIII secolo è stata utilizzata come pianta ornamentale ma in seguito si è trasformata nella principale coltura oleacea erbacea grazie alla scoperta dell'elevato contenuto in olio nel suo seme.



Figura 6.3 = Helianthus Anuus

In Italia, la Toscana, l'Umbria e le Marche sono le maggiori coltivatrici di questa specie (da sole hanno prodotto quasi 1,5mil di tonnellate di semi di girasole su una superficie di 89.000Ha secondo i dati ISTAT rilevati al 10-2012).

La pianta si presenta con fusto eretto, cilindrico e pieno di midollo e alto tra 1,5 e 2mt. Nelle varietà coltivate a pieno campo il fusto non si ramifica.

La forma delle foglie varia in base alla loro posizione sul fusto; possono essere cordate oppure ovate; in entrambi i casi sono semplici, pubescenti in ambo i lati e portate da lunghi piccioli.

L'infiorescenza (*calatide*) è formata da un ricettacolo, circondato da bratee, a forma di piatto con diametro di 15-30cm. Essa porta mediamente tra i 1500 e 2000 fiori e ai suoi bordi sono presenti fiori sterili con funzione attrattiva aventi una vistosa ligula di colore giallo-arancione.

L'impollinazione dei fiori avviene tramite insetti pronubi e solitamente i fiori collocati al centro della calatide, anche se impollinati, non portano a produzione a causa della maggiore difficoltà circolatoria dei nutrienti al centro dell'infiorescenza.

A maturazione dei semi, la calatide si ripiega verso il basso e si estroflette.

I frutti sono acheni con pericarpo duro e fibroso, di colore variabile dal bruno al nero, bianco o variegato. L'apparato radicale è fascicolato e molto sviluppato sia in profondità che in larghezza.

Solitamente il girasole viene seminato nel periodo compreso tra marzo e aprile, (la semina dipende anche dalla zona di coltivazione: Nord-Sud Italia), e completa il suo ciclo agronomico in circa 130 giorni.

La sua produzione media è di 2-2.5t/Ha con una densità di semina di 7-8 piante/m².

6.2 SOIA

Si tratta di una leguminosa annuale, cespugliosa a portamento eretto, interamente ricoperta da peli e facente parte della famiglia delle Fabaceae.

È originaria dell'estremo oriente (Cina) zona che, fino alla seconda guerra mondiale, era l'unica dove veniva coltivata. Attualmente le nazioni maggiori produttrici di soia sono USA, Brasile e Argentina.

In Italia, il Veneto ed il Friuli-Venezia Giulia sono le maggiori produttrici (con quasi 3 milioni di tonnellate prodotte su una superficie di quasi 106.000Ha secondo i dati ISTAT rilevati nell'11-2012); seguono in ordine: la Lombardia e l'Emilia-Romagna.



Figura 6.4 = Glycine Max

Il fusto della soia solitamente si sviluppa per 80-130cm e raramente è ramificato.

Le foglie sono composte, trifogliate e alterne e si sviluppano secondo il seguente schema: foglie cotiledonali, palco monofogliare e palchi trifogliari.

L'infiorescenza è collocata all'ascella delle foglie ed è composta da un numero di fiori che può variare da 3 a 15. L'impollinazione è autogama al chiuso ma non tutti i fiori portano alla maturazione di un frutto perché abortiscono.

I frutti della soia sono bacelli contenenti solitamente 2-3 semi (massimo 5) di colore giallo crema o più raramente bruno verdastri. L'apparato radicale è fittonante con media capacità di penetrazione.

Generalmente questo vegetale viene seminato nel periodo compreso tra aprile e giugno, ma anche qui bisogna considerare la zona di coltivazione e la varietà scelta (precoce o tardiva).

La produzione media è di 3-4t/Ha con una densità di semina di 25-35 piante/m².

6.3 ANALISI COMPIUTE SUL TERRENO

Per poter effettuare tutte le analisi descritte in seguito è bene precisare che il terreno utilizzato è stato preventivamente essiccato per un paio di giorni, macinato con il mortaio e quindi passato attraverso un setaccio da 0.2mm.

Tessitura (metodo Bouyoucos): questo tipo di analisi mira a determinare le percentuali di sabbia, limo e argilla contenute nel terreno.

Si prelevano 50gr di terreno e si pongono a riposo per 24h in un becker dopo aver aggiunto 100ml di sodio esametafosfato ed aver agitato per qualche minuto.

Si versa poi il contenuto in un apposito cilindro per granulometria facendo attenzione a non lasciare residui di terreno sul fondo becker e risciacquando con acqua deionizzata. Si porta quindi a livello il cilindro (1130ml) utilizzando sempre acqua deionizzata.

Si procede scuotendo energicamente il composto per qualche minuto in modo da portare in sospensione tutte le particelle e, appena si riappoggia il cilindro sul piano, si fa partire un cronometro.

Dopo appena 4 minuti tutta la sabbia sarà precipitata e si procede allora alla lettura della densità del liquido attraverso un apposito densimetro.

Dopo 2 ore anche il limo sarà totalmente precipitato lasciando in sospensione solamente l'argilla; si procede nuovamente alla lettura della densità (N.B.: se la temperatura del liquido è diversa da 20°C si procederà con una prova in bianco per determinare la correzione della densità).

Per lo sviluppo dei dati si utilizza la seguente formula:

% Argilla: $II^{\wedge} \text{ lettura} * 2$

% Limo: $(I^{\wedge} \text{ lettura} - II^{\wedge} \text{ lettura}) * 2$

% Sabbia: $100 - (\% \text{ argilla} + \% \text{ limo})$

pH: questa analisi verifica la quantità di ioni H^+ presenti nel terreno.

Si aggiunge al terreno una quantità di acqua deionizzata in rapporto 1:2.5 (1 unità di terreno e 2,5 unità di acqua) e si lascia riposare il composto per una notte.

Il giorno seguente si procede alla lettura del pH attraverso un apposito piaccametro preventivamente tarato.

C organico (metodo Walkley e Black): questa analisi verifica la quantità di Carbonio organico presente nel terreno.

In una beuta da 500ml si versano 10ml di Bicromato 1N, 2gr di terreno e 20ml di Acido Solforico concentrato facendolo scivolare sul bordo.

L'Acido Solforico attiva la reazione di ossidoriduzione del carbonio organico.

Trascorsi 30 minuti dalla miscelazione si procede aggiungendo 200ml di acqua deionizzata per bloccare la reazione. Si titola quindi il cromo residuo con Ferro Solfato sfruttando il viraggio cromatico aggiungendo prima della titolazione 5-10ml di Acido Ortofosforico e 10 gocce di indicatore Difenil Ammina.

Per calcolare la quantità di Carbonio organico si utilizza la seguente formula:

Carbonio organico espresso in gr: $3.9*(B-A)/C*M$

B = ml di Ferro Solfato utilizzati per titolare la prova in bianco

A = ml utilizzati per la titolazione della prova con il terreno

C = peso del campione del terreno

M = molarità effettiva del Ferro Solfato

Se si vuole conoscere anche il contenuto di sostanza organica basta semplicemente moltiplicare il valore ottenuto per 1,7241.

Calcare totale (metodo del calcimetro Dietrich): questo metodo calcola il contenuto di calcare nel campione di terreno.

In un becker si immette 1gr di terreno e si inserisce con cautela una provetta in plastica contenente 10ml di HCl 6N.

Il becker viene poi collegato al calcimetro precedentemente tarato e si procede agitando accuratamente il contenuto e lasciando reagire i composti per 15 minuti. Trascorso il tempo prestabilito si procede alla lettura del dato utilizzando le seguenti formule:

$$\text{Volume CO2 corretto: } A*(P-E)*273/(760*(273+t))$$

A = Volume CO2 sviluppata

P = Pressione in mm di Hg

E = Dato tabellare della tensione di vapore in base ai mm di Hg

T = Temperatura in °C

$$\text{Calcare tot in gr/kg} = \text{Vol. CO2 corretto} * 0,0044655 * 1000 / C$$

C = Peso del campione di terreno

Per le analisi che seguono si precisa che sono stati effettuati solo i passaggi preparativi del campione mentre l'analisi vera e propria è stata effettuata in un laboratorio maggiormente specializzato.

Estrazione dei metalli: per tale operazione si prelevano 2.5mg di terreno al quale si aggiungono 25 ml di estraente Mehlich-3.

Si ripone il composto in un agitatore per 5 minuti e in seguito si centrifuga per 10 minuti a 5000giri/min.

Compiuta questa operazione si procede a filtrare il composto e a diluire la soluzione ricavata con acqua deionizzata in rapporto 1:10 (1 unità di filtrato e 10 di acqua).

Il campione è pronto per essere analizzato.

Fosforo Olsen: in una provetta si pongono 1.25gr di terreno, 0.25gr di carbone e 25ml di soluzione estraente (NaHCO₃ 0.5M a ph 8.5).

Si agita la provetta per 30 minuti e, in seguito, si centrifuga il composto a 5000 giri/min per circa 10 minuti.

Anche in questo caso si filtra la soluzione e la si diluisce con acqua deionizzata con un rapporto 1:10 (1 unità di filtrato e 10 di acqua).

Il campione è pronto per essere analizzato.

CSC (Capacità di Scambio Cationico): si prelevano allo scopo 2gr di terreno al quale si aggiungono 25ml di Bario-Cloruro. Si pone la soluzione ottenuta in un agitatore per 30 minuti e quindi si procede filtrando il composto.

Si compie nuovamente la stessa procedura. In seguito si prelevano 5ml di filtrato e si portano ad un volume di 50 ml utilizzando acqua deionizzata. Si procede alla realizzazione di un campione in bianco seguendo la stessa metodologia.

Il campione è pronto per essere analizzato.

6.4 ANALISI COMPIUTE SUL PERCOLATO E IL LIQUIDO DRENATO

pH: si basa sullo stesso principio indicato per l'analisi del terreno cioè l'utilizzo di un piaccametro.

TKN (metodo Kjeldahl): Si pongono 20ml di campione da analizzare nell'apposito provettone. Si aggiungono cautamente 8ml di acido solforico concentrato e un numero ben determinato di pastiglie Kjeldahl. A questo punto si ripongono i provettoni nell'apposito "digestore" dopo aver preso le dovute precauzioni (digestore sotto cappa, raccoglitore di fumi, ecc.). Si ha la certezza che la reazione sia totalmente avvenuta quando il colore della soluzione diventa verde acceso (dopo circa 2 ore).

Alla fine della reazione si procede con l'aggiunta di idrossido di sodio per aumentare il valore del ph; la soluzione viene in seguito distillata per 6 minuti in corrente di vapore. L'ammoniaca estratta viene raccolta in una soluzione di acido borico e successivamente titolata con una soluzione standard di acido solforico.

Per lo sviluppo dei dati si procede con la seguente formula:

$$\text{TKN mg/l} = (A*B*14000)/C$$

A = volume in ml di titolante utilizzato

B = normalità esatta del titolante

C = volume in ml di campione analizzato

14000 = peso equivalente dell'azoto

COD: Si inizia immettendo in un provettone 20ml di campione, pochi grammi di solfato di mercurio, 10ml esatti di soluzione estraente, 30ml di acido solforico concentrato e alcuni grammi di solfato di argento. Fatto ciò si chiude il provettone con la campanella antischizzo e lo si ripone nell'apposito digestore che viene attivato secondo il programma prestabilito. Dopo aver lasciato raffreddare la soluzione si aggiunge della ferroina e si titola con il sale di Mohr fino a viraggio marrone. Si

compie la stessa titolazione con un campione in bianco composto da un po' di acqua distillata, 10ml di ossidante e 10ml di acido solforico concentrato.

Per lo sviluppo dei dati si procede con la seguente formula:

Titolo esatto sale di Mohr: $(A*B)/C$

A = normalità del bicromato di potassio

B = volume in ml di bicromato di potassio

C = volume in ml di sale di Mohr utilizzati per il bianco

COD = $[(A-B)*C*8000]/D$

A = volume in ml di sale di Mohr utilizzati per il bianco

B = volume in ml di sale di Mohr utilizzati per il campione

C = normalità esatta del titolante

D = volume in ml di campione utilizzato

8000 = peso equivalente dell'ossigeno

NO₃: Si pongono in un vasetto 10ml di campione al quale si aggiunge 1ml di soluzione di salicilato di sodio e si ripone il composto in stufa a 105°C.

Avvenuta la sua totale essiccazione si aggiungono 2ml di acido solforico concentrato, avendo cura di bagnare tutto il residuo. Dopo qualche minuto si procede all'aggiunta di 15ml di acqua e 15ml di soluzione basificante, in modo tale da ottenere una colorazione gialla. Si procede alla realizzazione del campione in bianco che segue le stesse fasi a partire dall'estrazione del barattolo dalla stufa.

Lasciato riposare i due campioni per 10 minuti dopo l'immissione dei reagenti, si procede alla lettura del valore tramite l'utilizzo di uno spettrofotometro impostato a lunghezza d'onda di 420nm.

P totale: Si versano in una apposita bottiglia 50ml di campione non torbido e una goccia di fenolftaleina. Nel caso in cui la soluzione diventi rosa bisogna aggiungere acido solforico 4.5M, goccia a goccia, fino alla decolorazione della soluzione stessa.

Si procede aggiungendo 2ml di perfosfato di potassio, si tappa la bottiglia e la si ripone in una stufa per 30 minuti. Fatto quindi raffreddare il composto si aggiungono 1.5ml di reagente misto e 1.5ml di acido ascorbico.

Per il campione in bianco si procede aggiungendo a 50ml di acqua deionizzata il reagente e l'acido ascorbico.

Si procede poi alla lettura del valore tramite spettrofotometro impostato ad una lunghezza d'onda di 882nm.

Cloruri: Si immettono in una beuta 100ml di campione e una "pipettata" di indicatore (K_2CrO_4). Si procede titolando la soluzione con argento nitrato 0.1N fino al raggiungimento di un colore rosso-bruno torbido.

Per il test in bianco si utilizzano 100ml di acqua deionizzata e una "pipettata" di indicatore. Il valore che si ottiene dalla sua titolazione deve essere sottratto al valore ottenuto con il campione da analizzare.

Per lo sviluppo dei dati si procede con la seguente formula:

$$\text{Cloruri in mg/l} = (A*B*35457)/C$$

A = volume in ml di titolante utilizzato

B = normalità esatta del titolante

35457 = peso equivalente del cloro

C = volume in ml di campione utilizzato

Solidi totali: Come prima operazione si pesa una capsula in ceramica che verrà in seguito riempita con un volume noto di campione (solitamente 40ml). Si ripone la capsula in stufa a 105°C per una notte (almeno 12 ore) e trascorso il tempo stabilito la si lascia raffreddare nell'essiccatore. Al termine si pesa il campione.

Per lo sviluppo dei dati si procede con la seguente formula:

$$\text{Solidi totali mg/l} = (A-B)/C*10^6$$

A = peso in grammi del campione+capsula dopo il trattamento in stufa

B = peso in grammi della capsula

C = volume in ml di campione utilizzato

Solidi volatili: Per questa analisi si ricorre al campione già utilizzato per l'analisi dei solidi totali, dopo il trattamento in stufa. Si ripone la capsula nella muffola a 550°C per 3 ore. Trascorso tale periodo e dopo aver raffreddato la capsula stessa in essiccatore si procede alla lettura del suo peso.

Per lo sviluppo dei dati si procede con la seguente formula:

$$\text{Solidi volatili} = (A-B)/C \cdot 10^6$$

A = peso in grammi del campione dopo il trattamento a 105°C

B = peso in grammi del campione dopo il trattamento a 550°C

C = volume in ml di campione utilizzato

7 RISULTATI

Nella “*Tabella 7.1*” vengono riportate le caratteristiche del terreno. Tali dati sono stati ricavati da due campioni (TA1 e TA2) prelevati separatamente e poi miscelati al momento del riempimento delle vasche. Come si può notare dall’immagine del triangolo tessiturale (*Figura 7.1*), il terreno che si è andato a creare risulta essere franco-sabbioso-argilloso.

		TA1	TA2	Media
Tessitura	Sabbia %	50	48	49
	Limo %	22	22	22
	Argilla %	28	30	29
% Carbonio Organico		0,63	0,55	0,59
% Sostanza Organica		1,08	0,95	1,01
pH		8,23	8,24	8,24
Carbonati (g/kg)		173,50	177,54	175,52
Metalli (ppm)	Cd	0,28	0,29	0,29
	P	624,93	642,94	633,94
	Zn	77	78,25	77,63
	Cr	19,34	19,66	19,50
	Fe	17542,93	17954,77	17748,85
	Cu	27,17	27,02	27,10

Tabella 7.1 = Valori medi del terreno

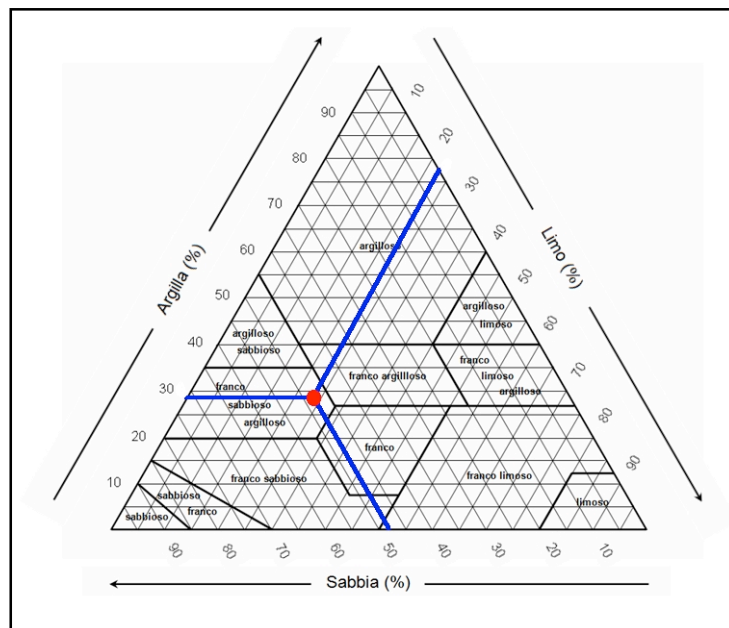


Figura 7.1 = Collocazione della tessitura del terreno

Nella “*Tabella 7.2*” si riportano i valori medi riferiti al percolato utilizzato durante la sperimentazione. Si noti che ce ne sono di due tipi: questo perché a metà prova la prima partita di percolato era esaurito e l’acquisizione di nuovo percolato ha richiesto una nuova analisi per un reale raffronto dei dati.

LEACHATE			
<i>Parameters</i>	<i>Unit of measure</i>	<i>MEAN VALUES</i>	
		<i>Value 1#</i>	<i>Value 2#</i>
pH	-	7,85	7,81
TS	mg/L	2.605	3.738
VS	mg/L	1.010	1.158
COD	mg/L	607,1	1.005
TOC	mg/L	1.002	1.471
TKN	mg/L	626,5	1.015
NH⁴⁺-N	mg/L	588,0	1.015
NO³⁻-N	mg/L	2,50	2,03
P-tot	mg/L	7,6	2,9
Cl	mg/L	593,9	886,4
Cd	µg/L	<10	Similar
Cr	µg/L	98,8	Similar
Cu	µg/L	20,2	Similar
Fe	µg/L	6580	Similar
Mn	µg/L	238	Similar
Ni	µg/L	99	Similar
Pb	µg/L	<30	Similar
Zn	µg/L	122	Similar

Tabella 7.2 = Concentrazioni degli elementi nei percolati 1# e 2#

Per una maggiore accuratezza è stata effettuata anche un’analisi sui valori dell’acqua utilizzata per le diluizioni del percolato. Nella “*Tabella 7.3*” ne vengono riportati i risultati.

TAP WATER		
<i>Parameters</i>	<i>Unit of measure</i>	<i>Mean Values</i>
pH	-	8,2
TS	mg/L	296
VS	mg/L	156
%TS	%	53%
COD	mg/L	9,6
BOD	mg/L	0
TOC	mg/L	0
TKN	mg/L	2,80
NH₄⁺-N	mg/L	2,80
NO₃⁻-N	mg/L	0,50
P-tot	mg/L	0,01
PO₄³⁻-P	mg/L	0,01
Cl⁻	mg/L	8,05
SO₄²⁻	mg/L	16
S²⁻	mg/L	Not Detected

Tabella 7.3 = Concentrazioni degli elementi nell'acqua di rubinetto

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i quantitativi di apporto di sostanze in base alle diluizioni che sono state effettuate. La “Tabella 7.4” fa riferimento alla prima partita di percolato utilizzato mentre la “Tabella 7.5”, alla seconda.

Feeding 1									
TW	LEACHATE	TKN	NO3-N	NH₄⁺-N	COD	Ptot	TS	VS	CL-
% v/v	% v/v	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
100%	0%	2,8	0,50	2,8	9,6	0,01	296,0	156,0	8,1
90%	10%	65,2	0,70	61,3	69,3	0,77	526,9	241,4	66,6
80%	20%	127,5	0,90	119,8	129,1	1,52	757,8	326,8	125,2
70%	30%	189,9	1,10	178,4	188,8	2,28	988,7	412,2	183,8
60%	40%	252,3	1,30	236,9	248,6	3,04	1219,6	497,6	242,4

Tabella 7.4 = Concentrazioni degli elementi in base alle diluizioni con il percolato 1#

Feeding 2									
TW	LEACHATE	TKN	NO3-N	NH₄⁺-N	COD	Ptot	TS	VS	CL-
% v/v	% v/v	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
75%	25%	255,9	1,00	255,9	258,5	0,74	1156,5	406,5	227,6
70%	30%	306,5	0,96	306,5	308,2	0,88	1328,6	456,6	271,6
60%	40%	407,7	1,11	407,7	407,8	1,17	1672,8	556,8	359,4
50%	40%	407,4	1,06	407,4	406,8	1,17	1643,2	541,2	358,6

Tabella 7.5 = Concentrazioni degli elementi in base alle diluizioni con il percolato 2#

Nelle “*Tabella 7.6*”, “*Tabella 7.7*”, “*Tabella 7.8*” e “*Tabella 7.9*” che seguono vengono riportati i valori delle sostanze immesse per irrigazione e scaricate per dilavamento, suddivise per i vari gruppi di piante analizzati (girasoli: G1, G2, G3; soia: S1, S2, S3). In alcuni casi i dati sono assenti: nel caso di Week 1 ciò è dovuto alla mancata fuoriuscita di acqua percolata in G3, S1, S2 e S3, nel caso dell’ultima settimana la causa è stata la morte di gran parte delle piante del gruppo G1 (rischio di dato falsato) e nel caso delle ultime due settimane il valore del Cl⁻ in uscita non è presente per mancata analisi dovuta a cause di forza maggiore.

	TKN			Inorganic N (NH₄+NO₃)		
	LOAD IN	LOAD OUT	η	LOAD OUT	LOAD IN	η
	mg/V*week	mg/V*week	%	mg/V*week	mg/V*week	%
Week 1						
G1	2.020,27	6,16	99,7%	1.922,62	255,0	86,7%
G2	1.694,42	37,80	97,8%	1.612,52	226,0	86,0%
G3	/	/	/	/	/	/
S1	/	/	/	/	/	/
S2	/	/	/	/	/	/
S3	/	/	/	/	/	/
Week 2						
G1	5.317,48	33,32	99,4%	5.015,78	1.528,0	69,5%
G2	4.194,82	108,50	97,4%	4.427,08	340,6	92,3%
G3	5.317,48	170,91	96,8%	5.015,78	567,7	88,7%
S1	3.571,12	50,92	98,6%	3.584,62	879,6	75,5%
S2	3.571,12	27,16	99,2%	3.584,62	948,7	73,5%
S3	3.571,12	28,70	99,2%	3.584,62	1.266,9	64,7%
Week 3						
G1	6.054,72	105,00	98,3%	5.716,32	922,2	83,9%
G2	6.054,72	147,70	97,6%	5.716,32	595,3	89,6%
G3	6.054,72	133,20	97,8%	5.716,32	585,0	89,8%
S1	3.038,56	120,60	96,0%	2.873,36	729,8	74,6%
S2	3.038,56	5,60	99,8%	2.873,36	209,2	92,7%
S3	3.038,56	24,50	99,2%	2.873,36	2.687,6	6,5%
Week 4						
G1	9.193,80	517,11	94,4%	9.223,80	1.546,5	83,2%
G2	9.193,80	515,20	94,4%	9.223,80	760,3	91,8%
G3	9.193,80	511,92	94,4%	9.223,80	790,6	91,4%
S1	4.861,15	203,84	95,8%	4.880,15	404,7	91,7%
S2	4.861,15	20,72	99,6%	4.880,15	362,7	92,6%
S3	4.861,15	16,80	99,7%	4.880,15	240,6	95,1%
Week 5						
G1	6.930,56	445,81	93,6%	6.949,48	1.909,2	72,5%
G2	11.007,36	24,54	99,8%	11.037,42	183,8	98,3%
G3	11.822,72	424,36	96,4%	8.593,56	3.045,3	64,6%

S1	5.516,28	247,02	95,5%	5.533,56	1.216,7	78,0%
S2	6.129,20	8,40	99,9%	6.148,40	337,1	94,5%
S3	6.129,20	15,40	99,7%	6.147,44	1.126,4	81,7%
Week 6						
G1	/	/	/	/	/	/
G2	8.561,28	4,87	99,9%	8.584,66	98,2	98,9%
G3	8.561,28	143,14	98,3%	8.584,66	1.933,2	77,5%
S1	3.677,52	448,81	87,8%	3.689,04	797,1	78,4%
S2	5.822,74	19,94	99,7%	5.841,94	363,1	93,8%
S3	5.822,74	50,96	99,1%	5.840,98	1.009,0	82,7%

Tabella 7.6 = Valori di TKN e azoto inorganico riscontrati nell'acqua percolata

	COD			P		
	LOAD IN	LOAD OUT	η	LOAD IN	LOAD OUT	η
	mg/V*week	mg/V*week	%	mg/V*week	mg/V*week	%
Week 1						
G1	2.150	32,7	98,5%	23,8	0,13	99,4%
G2	1.803	104,0	94,2%	19,9	0,29	98,5%
G3	/	/	/	/	/	/
S1	/	/	/	/	/	/
S2	/	/	/	/	/	/
S3	/	/	/	/	/	/
Week 2						
G1	5.288	520,0	90,2%	30,8	0,71	97,7%
G2	4.212	170,0	96,0%	27,2	0,48	98,2%
G3	5.288	307,4	94,2%	30,8	0,93	97,0%
S1	3.615	181,0	95,0%	25,2	1,96	92,2%
S2	3.615	141,3	96,1%	25,2	0,53	97,9%
S3	3.615	348,5	90,4%	25,2	0,59	97,6%
Week 3						
G1	5.966	811,2	86,4%	54,8	1,42	97,4%
G2	5.966	313,2	94,7%	54,8	0,69	98,7%
G3	5.966	331,6	94,4%	54,8	0,17	99,7%
S1	3.021	418,3	86,2%	17,6	0,33	98,1%
S2	3.021	83,0	97,3%	17,6	0,08	99,5%
S3	3.021	322,9	89,3%	17,6	0,35	98,0%
Week 4						
G1	9.247	1.228,7	86,7%	26,5	5,16	80,5%
G2	9.247	934,0	89,9%	26,5	3,00	88,7%
G3	9.247	1.462,3	84,2%	26,5	2,78	89,5%
S1	4.911	844,5	82,8%	14,0	2,36	83,2%
S2	4.911	188,0	96,2%	14,0	0,52	96,3%
S3	4.911	304,8	93,8%	14,0	0,51	96,4%
Week 5						
G1	6.932	1.308,0	81,1%	20,0	3,51	82,4%
G2	11.010	117,0	98,9%	31,7	0,21	99,3%
G3	11.825	1.421,6	88,0%	24,7	3,14	87,3%
S1	5.548	690,0	87,6%	15,9	1,44	90,9%
S2	6.164	120,0	98,1%	17,7	0,21	98,8%
S3	6.164	165,0	97,3%	17,7	0,50	97,2%

Week 6						
G1	/	/	/	/	/	/
G2	8.563	53,9	99,4%	24,7	0,10	99,6%
G3	8.563	1.773,2	79,3%	24,7	2,19	91,1%
S1	3.699	122,3	96,7%	10,6	2,44	77,0%
S2	5.856	241,9	95,9%	16,8	0,38	97,8%
S3	5.856	574,3	90,2%	16,8	0,64	96,2%

Tabella 7.7 = Valori di COD e Fosforo riscontrati nell'acqua percolata

	TS			VS		
	LOAD IN	LOAD OUT	n	LOAD IN	LOAD OUT	η
	mg/V*week	mg/V*week	%	mg/V*week	mg/V*week	%
Week 1						
G1	16.334	3.916	76,0%	7.483	1.727	76,9%
G2	13.699	3.940	71,2%	6.276	1.953	68,9%
G3	/	/	/	/	/	/
S1	/	/	/	/	/	/
S2	/	/	/	/	/	/
S3	/	/	/	/	/	/
Week 2						
G1	27.684	25.169	9,1%	11.542	9.699	16,0%
G2	23.527	4.438	81,1%	10.004	1.908	80,9%
G3	27.684	12.901	53,4%	11.542	5.412	53,1%
S1	21.218	18.667	12,0%	9.150	7.179	21,5%
S2	21.218	18.071	14,8%	9.150	7.013	23,4%
S3	21.218	22.733	-7,1%	9.150	9.358	-2,3%
Week 3						
G1	29.270	20.240	30,9%	11.942	9.024	24,4%
G2	29.270	10.030	65,7%	11.942	5.665	52,6%
G3	29.270	8.860	69,7%	11.942	5.100	57,3%
S1	15.819	15.923	-0,7%	6.595	7.343	-11,3%
S2	15.819	4.890	69,1%	6.595	2.260	65,7%
S3	15.819	22.733	-43,7%	6.595	10.876	-64,9%
Week 4						
G1	39.858	28.930	27,4%	13.698	13.200	3,6%
G2	39.858	7.150	82,1%	13.698	2.620	80,9%
G3	39.858	17.766	55,4%	13.698	9.576	30,1%
S1	21.974	18.616	15,3%	7.724	9.750	-26,2%
S2	21.974	15.633	28,9%	7.724	7.733	-0,1%
S3	21.974	12.810	41,7%	7.724	6.480	16,1%
Week 5						
G1	28.438	29.812	-4,8%	9.466	13.603	-43,7%
G2	45.166	2.304	94,9%	15.034	1.277	91,5%
G3	48.511	34.201	29,5%	16.147	18.901	-17,1%
S1	23.915	13.269	44,5%	8.219	5.693	30,7%
S2	26.572	7.095	73,3%	9.132	3.495	61,7%
S3	26.572	12.639	52,4%	9.132	5.159	43,5%

Week 6						
G1	/	/	/	/	/	/
G2	/	/	/	/	/	/
G3	35.129	46.541	-32,5%	11.693	28.574	-144,4%
S1	15.943	15.750	1,2%	5.479	7.831	-42,9%
S2	25.243	21.275	15,7%	8.675	10.822	-24,7%
S3	25.243	25.871	-2,5%	8.675	13.768	-58,7%

Tabella 7.8 = Valori di Solidi Totali e Solidi Volatili riscontrati nell'acqua percolata

CI-			
	LOAD IN	LOAD OUT	η
	mg/V*week	mg/V*week	%
Week 1			
G1	2.066	156,0	92,4%
G2	1.733	238,1	86,3%
G3	/	/	/
S1	/	/	/
S2	/	/	/
S3	/	/	/
Week 2			
G1	5.146,5	1097,2	78,7%
G2	4.092,0	347,6	91,5%
G3	5.146,5	673,5	86,9%
S1	3.506,2	1056,9	69,9%
S2	3.506,2	1032,1	70,6%
S3	3.506,2	799,5	77,2%
Week 3			
G1	5.817	908,0	84,4%
G2	5.817	663,0	88,6%
G3	5.817	680,8	88,3%
S1	2.941	877,8	70,2%
S2	2.941	141,8	95,2%
S3	2.941	620,4	78,9%
Week 4			
G1	8.147	2106,5	74,1%
G2	8.147	992,8	87,8%
G3	8.147	1735,9	78,7%
S1	4.325	2139,3	50,5%
S2	4.325	734,8	83,0%
S3	4.325	595,8	86,2%

Tabella 7.9 = Valori di CI riscontrati nell'acqua percolata

Esaminando i valori nelle tabelle sopra riportate risulta che durante la fase di crescita iniziale delle piante sono stati trattenuti maggiori quantitativi di COD e fosforo rispetto al periodo finale del test, quando la pianta si presentava già ben sviluppata.

A seguire si nota che la riduzione di TKN ha mantenuto pressoché valori costanti per tutto il periodo del test svolto (riduzioni medie di TKN del 97.4% e del 97.9% per girasoli e soia, rispettivamente).

L'assorbimento dell'elemento cloro è stato costante nelle rilevazioni effettuate fino alla quarta settimana.

I quantitativi dei solidi totali (TS) e dei solidi volatili (VS), invece, non hanno avuto decisamente valori costanti nel tempo. Si passa, infatti, da valori di riduzioni del 94.9% ad aumenti anche del 43.7%, per quanto riguarda i solidi totali, e riduzioni del 91.5% con aumenti fino al 144.4%, per quanto riguarda i solidi volatili.

I risultati di cui sopra rilevano quindi che nelle piante prese in esame la capacità di assorbimento delle sostanze organiche e del fosforo disciolti nel percolato è maggiore in fase di crescita, mentre azoto e cloro (almeno quanto riguarda le prime 4 settimane di osservazione) presentano pressoché valori costanti nel tempo durante il periodo di crescita e sviluppo.

Allo stesso tempo si denota un “*difetto di progettazione*” del profilo del suolo e del campionamento dell'acqua infiltrata in profondità, tenuto conto che le notevoli variazioni dei solidi totali e volatili hanno compromesso la perfetta riuscita dell'esperimento.

8 DISCUSSIONE

Nel complesso, dai risultati della sperimentazione effettuata, si è potuto riscontrare che le due specie di piante analizzate riescono a sopportare senza problemi e senza particolari segni di sofferenza l'irrigazione con miscela di acqua e percolato.

Non si sono notate inoltre rilevanti differenze di sviluppo di biomassa tra le piante innaffiate con sola acqua e quelle con acqua e percolato: questo in accordo con il test svolto da Zalesny (2007). In questo caso, però, sono state usate varie specie di pioppi, ma i risultati ottenuti sono stati molto simili.

Zalesny rileva che le piante prese in analisi irrigate con percolato non hanno dimostrato grandi differenze di sviluppo rispetto al campione di controllo irrigato con sola acqua e la moria è stata contenuta (22%).

Potenzialità impianto in A.E. (abitanti equivalenti)	2.000 - 10.000		>10.000	
Parametri (media giornaliera) (1)	Concentrazione	% di riduzione	Concentrazione	% di riduzione
BOD5 (senza nitrificazione) mg/L (2)	≤ 25	70-90 (5)	≤ 25	80
COD mg/L (3)	≤ 125	75	≤ 125	75
Solidi Sospesi mg/L (4)	≤ 35 (5)	90 (5)	≤ 35	90

Parametri (media annua)	Potenzialità impianto in A.E.			
	10.000 - 100.000		> 100.000	
	Concentrazione	% di riduzione	Concentrazione	% di riduzione
Fosforo totale (P mg/L) (1)	≤ 2	80	≤ 1	80
Azoto totale (N mg/L) (2) (3)	≤ 15	70-80	≤ 10	70-80

Tabella 8.1 = Limiti secondo D.lgs 152/06 sulla qualità dell'acqua trattata

Nella "Tabella 8.1" vengono riportati i limiti minimi, a norma di legge, per considerare l'acqua correttamente trattata. Questa tabella è inclusa nel D.lgs 152/06 allegato 5/cap. 1.

I requisiti suddetti devono essere soddisfatti o sotto forma di concentrazione o di % di riduzione. Nel nostro caso si prende in considerazione la seconda metodologia.

Come si può notare dal confronto con i dati raccolti la % di riduzione del COD è stata soddisfatta senza alcun problema. Tale percentuale, tranne nell'ultima settimana di analisi, è sempre stata ben superiore al 75% richiesto (salvo casi sporadici).

Anche i requisiti relativi al fosforo e all'azoto totale sono stati completamente soddisfatti con valori che hanno raggiunto anche più del 95%. Essendo, inoltre, questi due parametri calcolati su una media annua, anche se ci sono stati casi al di sotto del 80% (vedi per esempio S3 in Week 3 di "*Tabella 7.6*") ciò non costituisce un problema poichè vengono compensati dagli altri dati favorevoli ottenuti. Questi valori si trovano perfettamente d'accordo con i risultati dell'esperimento condotto su un impianto di fitodepurazione diffusa riportato nel libro "*Fitodepurazione*" del Professor Borin Maurizio del 2003. Nel test preso in esame venivano utilizzate delle siepi come piante fitodepuratrici, ma i risultati sono stati comunque simili.

Sono state registrate infatti diminuzioni dell'azoto di oltre il 90% (valore molto simile a quello ottenuto) e il fosforo, anche se ha avuto delle oscillazioni sui valori, è stato sempre inferiore a 1.16 mg/l in uscita (anche qui il valore medio che è stato osservato è molto simile a quello del test del libro).

L'unico parametro che non è stato soddisfatto, a termini di legge, è la percentuale di riduzione dei solidi totali (TS) che si è quasi sempre mantenuta al di sopra del valore richiesto, se non in sporadici casi.

Questo sfasamento può essere dovuto all'erronea ricreazione del profilo del suolo. La ghiaia utilizzata in profondità, difatti, non ha bloccato il dilavamento del terreno, favorendo così l'aumento dei solidi totali nell'acqua che è stata raccolta per le analisi. Questo fatto è inevitabile, altrimenti non si riuscirebbe a raccogliere e calcolare l'esatta quantità di acqua filtrata in profondità.

Si può solo ipotizzare che in normali condizioni il terreno svolga un più efficace “*effetto filtro*” che trattenga maggiormente i solidi totali.

9 CONCLUSIONI

A conclusione dell'esperienza pratica e degli studi svolti ai fini della redazione di questo elaborato mi sento di dire che gli stessi mi hanno reso molto più sensibile al problema dello smaltimento dei rifiuti direttamente collegato alla salvaguardia dell'ambiente.

Per quanto il progresso tecnologico faccia passi da gigante, ritengo che l'argomento "*riciclo e riutilizzo*" di materiale derivante da rifiuti urbani non sia ancora stato affrontato e valutato nella sua globalità, con le dovute cure e con le adeguate proposte di soluzione. Se le corrette tecniche di smaltimento dei rifiuti venissero attuate da tutti, la necessità di ricorso alle discariche diminuirebbe sensibilmente, con conseguente riduzione della produzione di percolato.

Poiché tuttavia il problema esiste, il metodo di smaltimento tramite fitodepurazione del percolato proveniente dallo stoccaggio dei rifiuti ritengo possa essere una delle soluzioni realizzabili e attualmente più attendibili, almeno in via teorica.

L'esperimento condotto, infatti, non tiene conto di due parametri fondamentali di base: fenomeni atmosferici e fattore "*uomo*".

Per quanto riguarda il primo fattore ci sono concreti rischi che fenomeni quali piogge eccessive dilavino troppo rapidamente in profondità gli elementi tossici e pericolosi, non permettendo quindi un'accurata depurazione, ma favorendo al contrario l'inquinando della falda.

Per quel che riguarda il fattore "*uomo*", credo esista il rischio che si crei un fenomeno di passivo "*disinteresse*" nei confronti dell'ambiente; si potrebbe verificare ad esempio il caso di utilizzo di percolato in dosi superiori ai limiti stabiliti, al semplice scopo di smaltirlo più rapidamente, con indebito incasso di eventuali incentivi stanziati a tal fine.

Questa convinzione mi deriva dal fatto che già al giorno d'oggi esistono società incaricate dello smaltimento dei rifiuti che effettuano tale operazione in modo

tutt'altro che sostenibile e rispettoso, con il semplice scopo di lucrare, purtroppo a spese del “*sistema ambiente*”.

Insorgono, in aggiunta, problemi secondari quali: tecnica di diluizione e somministrazione alle piante e sicurezza che il prodotto irrigato con percolato venga utilizzato correttamente in base alle concentrazioni di inquinanti rilevate al suo interno.

Per quanto sopra ritengo che lo smaltimento tramite impianti appositi di fitodepurazione, amministrati da aziende specializzate e controllate sensibili al problema della “*salvaguardia ambientale*”, sia l'unica alternativa alle attuali tecniche di purificazione del percolato, attuate mediante l'utilizzo di appositi impianti.

Bibliografia:

Per la realizzazione di questo elaborato si è ricorso alla consultazione di testi, siti, dispense ed articoli dei quali si riportano nella parte sottostante titoli ed autori. Nel caso in cui il testo consultato abbia estrapolato dati, frasi e quant'altro da altri libri, si rimanda alla bibliografia dello stesso.

Assessorato all'ambiente della Provincia di Vicenza “*La nuova disciplina relativa alle discariche di rifiuti*”, Hyper, 2003;

Borin Maurizio “*Fitodepurazione: soluzioni per il trattamento dei reflui con le piante*”, Edagricole 2003;

Bresciani Riccardo e Masi Fabio “*Manuale pratico di fitodepurazione*”, Terra nuova, 2013;

Cossu Prof. Raffaello “*Trattamento percolato*” dispense del dipartimento IMAGE dell'università di Padova, 2006;

Feronato L., Gastaldello A., Lavagnolo M. C. “*Trattamento percolato da vecchie discariche*”, articolo a cura di Depuracque servizi srl, 2002;

Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) “*Rapporto rifiuti urbani – Edizione 2013*”, ISPRA – Settore Editoria, 2013;

Paiero Paolo “*I salici in selvicoltura, in agricoltura e nella tutela del paesaggio*”, stampa ad uso privato/Giornata di studio, 2007;

Raga Ing. Roberto “*Dispense discariche*”, dispense del dipartimento IMAGE dell'università di Padova, 2007;

Romagnolli Floriana “*Manuale di fitodepurazione*”, Comune Reggio Emilia - Assessorato Ambiente, 2002;

Valli Rolando, Corradi Claudio e Battini Ferdinando, “*Coltivazioni erbacee e arboree*”, Edagricole, 2011;

Zalesny, Jill A., Zalesny, Ronald S., Jr. Coyle, David R., Hall, Richard B. “*Forest Ecology and Management - volume 248*”, Elsevier, 2007;

Sito: “<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>”

Sito: “<http://it.wikipedia.org>”

Sito: “<http://noi-italia2010.istat.it>”

Sito: “<http://www.beabrianza.it>”

Sito: “<http://www.gruppo.acegas-aps.it>”

Sito: “www.noi-italia.istat.it”

Fonti iconografiche:

Figura 1.1: “<http://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2012/06/daily-chart-3>”

Figura 2.1: “<http://www.ilcorrieredellacitta.com/wp-content/uploads/2011/05/discarica.jpg>”

Figura 2.2: “<http://robotsconquerus.blogspot.it/2011/03/landfills.html>”

Figura 3.1: “http://tg24.sky.it/tg24/economia/mappe/mappa_rifiuti.html”

Figura 3.2: “<http://www.ecoo.it/articolo/contenitori-per-la-raccolta-differenziata-prezzi-e-consigli-per-l-utilizzo-in-casa/13075/>”

Figura 4.1: “<http://schoolworkhelper.net/landfill-sites-selection-types-techniques/>”

Figura 5.1: “http://it.wikipedia.org/wiki/File:Verschiedene_Typen_von_Pflanzenkläranlagen.jpg”

Figura 6.1: Fonte personale

Figura 6.2: Fonte personale

Figura 6.3: Fonte personale

Figura 6.4: Fonte personale

Fonti Giuridiche:

Decreto legislativo del 13 gennaio 2003 36/03 "*Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti*" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n° 59 del 12 marzo 2003 - Supplemento Ordinario n. 40;

Decreto legislativo del 3 aprile 2006 152/06 "*Norme in materia ambientale*" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n° 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96.

Decreto ministeriale del 27 settembre 2010 27/10 "*Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio 3 agosto 2005*" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n°281 del 1 dicembre 2010

Ringraziamenti:

I seguenti ringraziamenti sono rivolti non solo alle persone che mi hanno aiutato nello sviluppo, realizzazione e stesura della tesi, ma anche agli amici più importanti che mi sono stati accanto in questi anni di università.

Ringrazio in primis il Professor Mario Malagoli e Professoressa Maria Cristina Lavagnolo per avermi dato la possibilità di realizzare questa interessante tesi di laurea e avermi seguito durante quest'ultimo periodo, facendomi ampliare le conoscenze su percolato, discariche, fitodepurazione e argomenti connessi.

Grazie

Ringrazio il laboratorio ISA del dipartimento di ICEA per avermi ospitato durante il periodo di realizzazione della tesi. Ringrazio specialmente Alejandra per avermi aiutato e per aver svolto un ruolo fondamentale nelle operazioni di prelievo e analisi dei campioni.

Grazie

Ringrazio in generale tutti i miei compagni di corso che mi hanno sempre supportato e sopportato (NB: sopportazione reciproca) durante questi tre anni di università, allietando le mie giornate. Ringrazio specialmente Francesco, Alberto, Raffaele, Edoardo, Andrea, Maria, Giulia e Gloria.

Grazie

Ringraziamenti speciali per Federica e Silvia che mi hanno sempre fornito sostegno e aiuto, sia psicologico che morale, durante tutto il periodo universitario con la loro simpatia e “pazzia”.

Grazie

Ringrazio i dipendenti della mensa ESU che hanno provveduto a soddisfare i miei fabbisogni fisici con un tocco di simpatia (e qualche cucchiata in più nel piatto).

Grazie

Ringrazio i miei amici Teodoro, Nicola T., Nicola C., Manuel, Alice, Vittoria, Elena per aver portato pazienza nei miei confronti nei momenti di “*folia pre-esami*”.

Grazie

Dulcis in fundo un ringraziamento particolare va alle persone più importanti, cioè coloro che mi hanno permesso di intraprendere questo cammino scolastico senza farmi pesare i problemi organizzativi ed economici che ne sono derivati e sostenendomi nelle mie scelte quotidiane.

Grazie mamma, grazie papà e grazie Davide

Sicuramente avrò tralasciato qualcuno nello scritto, ma non nel mio cuore.

Per rimediare al mio malfatto...

Grazie mille a tutti!!!