

Università degli Studi di Firenze
**Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per la Tutela dell'Ambiente ed
del Territorio**

a.a. 2006/2007

**IMPIANTI DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI SOLIDI
(4 CFU – II PERIODO)
PROF. E. CARNEVALE**

Il percolato da discarica

Ing. Lidia Lombardi - Ing. Isabella Pecorini
Dipartimento di Energetica
Università degli Studi di Firenze
Via Santa Marta, 3
50139 Firenze
lidia.lombardi@pin.unifi.it

Sommario

1. Il percolato del D.Lgs 36/2003
2. Processi di formazione
3. Caratteristiche qualitative del percolato
4. Trattamenti e smaltimento
5. Sistemi di raccolta del percolato



1. Il percolato nel decreto 36/2003:

Art 8: Domanda di autorizzazione per la costruzione e l'esercizio

Inserimento di metodi e misure per prevenire l'infiltrazione di acqua all'interno del corpo discarica e la conseguente formazione di percolato.

Finalità PSC: prevenire l'inquinamento e in particolare l'infiltrazione di percolato nel terreno.

Art 11: Procedure di ammissione

Per la collocazione dei rifiuti il detentore deve fornire precise indicazioni sulla capacità di produrre il percolato del rifiuto.

Art 13: Gestione operativa e post-operativa

Per tutta la durata della vita di una discarica devono essere garantiti analisi e controlli del percolato.

Relazione Annuale: andamento dei flussi e del volume di percolato e relative procedure di trattamento e smaltimento.

Allegati:

Deve essere assicurata un'efficiente raccolta di percolato.

Il battente idraulico di percolato sul fondo deve essere il minimo compatibile con i sistemi di sollevamento ed estrazione.

Indicazioni per la progettazione del sistema di raccolta del percolato.

Monitoraggio del sistema di raccolta al fine di proteggere terreno ed acque.

Mantenere al minimo il livello di percolato all'interno dei pozzi di captazione del biogas.

Piano di ripristino ambientale.

Allegato 2: PIANO DI SORVEGLIANZA E CONTROLLO

Il piano di sorveglianza e controllo deve essere costituito da un documento unitario, comprendente le fasi di realizzazione, gestione e post-chiusura, relativo a tutti i fattori ambientali da controllare, i parametri ed i sistemi unificati di prelevamento, trasporto e misure dei campioni, le frequenze di misura ed i sistemi di restituzione dei dati. Il piano è finalizzato a garantire che:

- tutte le sezioni impiantistiche assolvano alle funzioni per le quali sono progettate in tutte le condizioni operative previste;
- vengano adottati tutti gli accorgimenti per ridurre i rischi per l'ambiente ed i disagi per la popolazione;
- venga assicurato un tempestivo intervento in caso di imprevisti;
- venga garantito l'addestramento costante del personale impiegato nella gestione;
- venga garantito l'accesso ai principali dati di funzionamento nonché ai risultati delle campagne di monitoraggio.

Il controllo e la sorveglianza devono essere condotti avvalendosi di personale qualificato ed indipendente con riguardo ai parametri ed alle periodicità riportati come esemplificativi nelle tabelle 1 e 2 del presente allegato su:

- acque sotterranee;
- **percolato**;
- acque di drenaggio superficiale;
- gas di discarica;
- qualità dell'aria;
- parametri meteorologici;
- stato del corpo della discarica.

**Tabella 1 - Analisi
delle acque
sotterranee**

Parametri	*=Parametri fondamentali
*pH	
*temperatura	
*Conducibilità elettrica	
*Ossidabilità Kubel	
BOD5	
TOC	
Ca, Na, K	
*Cloruri	
*Solfati	
Fluoruri	
IPA	
*Metalli: Fe, Mn	
Metalli: As, Cu, Cd, Cr totale, Cr Vi, Hg, Ni, Pb, Mg, Zn	
Cianuri	
*Azoto ammoniacale, nitroso e nitrico	
Composti organoalogenati (compreso cloruro di vinile)	
Fenoli	
Pesticidi fosforiti e totali	
Solventi organici aromatici	
Solventi organici azotati	
Solventi clorurati	

Tabella 2 - Parametri da misurare e frequenza minima delle misure*

	Parametro	Frequenza Misure di gestione operativa	Frequenza Misure gestione post- operativa
Percolato	Volume	Mensile	Semestrale
	Composizione	Trimestrale	Semestrale
Acque superficiali di drenaggio	Composizione	Trimestrale	Semestrale
Qualità dell'aria	Immissioni gassose potenziali e pressione atmosferica	Mensile	Semestrale
Gas di scarica	Composizione	Mensile	Semestrale
Acque sotterranee	Livello di falda	Mensile	Semestrale
	Composizione	Trimestrale	Semestrale
Dati meteorologici	precipitazioni	Giornaliera	Giornaliera, sommata ai valori mensili
	Temperatura (min, max, 14 h CET)	Giornaliera	Media mensile
	Direzione e velocità del vento	Giornaliera	non richiesta
	Evaporazione	Giornaliera	Giornaliera, sommata ai valori mensili
	Umidità atmosferica (14 h CET)	Giornaliera	Media mensile
Topografia dell'area	Struttura e composizione della discarica	Annualmente	
	Comportamento d'assestamento del corpo della discarica	Semestrale	Semestrale per i primi 3 anni quindi annuale

I prelievi e le analisi devono essere effettuati da laboratori competenti, preferibilmente indipendenti, secondo le metodiche ufficiali.

5.1. Acque sotterranee

Obiettivo del monitoraggio è quello di rilevare tempestivamente eventuali situazioni di inquinamento delle acque sotterranee sicuramente riconducibili alla discarica, al fine di adottare le necessarie misure correttive.

Devono essere individuati punti di monitoraggio rappresentativi e significativi, anche in relazione all'estensione della discarica, in modo tale che siano presenti almeno un pozzo a monte (a distanza sufficiente dal sito per escludere influenze dirette) e due a valle, tenuto conto della direzione di falda.

Nei punti di monitoraggio individuati deve essere rilevato il livello di falda. È opportuno installare una sonda per il rilevamento in continuo del livello di falda. È opportuno installare una sonda per il rilevamento in continuo del livello della falda in caso di modesta soggiacenza della falda.

I livelli di controllo devono essere determinati in base alle variazioni locali della qualità delle acque freatiche.

In particolare, in funzione della soggiacenza della falda, delle formazioni idrogeologiche specifiche del sito e della qualità delle acque sotterranee dovrà essere individuato il livello di guardia per i vari inquinanti da sottoporre ad analisi.

5.2. Acque meteoriche di ruscellamento

In situazioni di particolare vulnerabilità ambientale il piano provvederà ad individuare i parametri e la frequenza di analisi relativi alle acque di drenaggio superficiale.

5.3. Percolato

In presenza di percolato e acqua superficiale, i campioni devono essere prelevati in punti rappresentativi. Il campionamento e la misurazione (volume e composizione) del percolato devono essere eseguiti separatamente in ciascun punto in cui il percolato fuoriesce dall'area. Il controllo delle acque superficiali deve essere fatto in almeno due punti, di cui uno a monte e uno a valle della discarica.

Il controllo del percolato e dell'acqua superficiale, in caso di contatto fra le due matrici, deve essere effettuato prelevando un campione rappresentativo della composizione media.

Deve essere misurata la quantità di percolato prodotto e smaltito, da correlare con i parametri meteorologici per eseguire un bilancio idrico del percolato.

I parametri da misurare e le sostanze da analizzare variano a seconda della composizione dei rifiuti depositati in discarica; vanno indicati nel provvedimento di autorizzazione di cui all'articolo 10 del presente decreto, e devono tenere conto dei criteri di ammissibilità di cui al decreto previsto dall'articolo 7, comma 5.

5.6 Parametri meteorologici

La discarica deve essere dotata di una centralina per la rilevazione dei dati meteorologici.

La tipologia delle misure meteorologiche è quella indicata dalla [tabella 2](#), salvo una diversa prescrizione dell'autorità di controllo, che potrà anche imporre per i casi particolari la rilevazione in continuo, definendo altresì la modalità, la tipologia di misure, nonché la modalità della loro trasmissione.

2. Processi di formazione del percolato:

La quantità d'acqua che si infiltra nell'ammasso di rifiuti e giunge dopo averlo saturato fino al fondo della discarica costituisce il percolato.

In linea teorica il percolato dovrebbe incominciare a accumularsi sul fondo della discarica solo una volta che i rifiuti abbiano raggiunto la **capacità di campo**, siano cioè saturi d'acqua e abbiano raggiunto un grado di umidità tale per cui ogni ulteriore apporto idrico prosegue il suo moto attraversandoli senza variazioni quantitative. A causa dell'esistenza di cammini preferenziali e della disomogeneità dell'ammasso dei rifiuti, si possono generare situazioni locali di saturazione e conseguentemente una produzione di percolato nonostante non sia stata raggiunta la capacità di campo in tutto l'ammasso.

Per stimare la produzione di percolato è ormai accettato che il miglior metodo sia quello di impostare il bilancio idrologico che consiste nella valutazione di tutti gli apporti e nella sottrazione dei flussi idrici.

Il bilancio idrologico di una discarica:

La stima della produzione di percolato non è basata su precisi modelli matematici ma solitamente si riferisce a semplici espressioni empiriche di bilancio. Un approccio di tipo deterministico, volto alla risoluzione dell'equazione del bilancio necessita l'esplicitazione analitica di ciascuno dei parametri che in essa compaiono; i risultati si presentano molto buoni per quanto concerne la modellizzazione del fenomeno di percolazione durante la fase di post-chiusura, mentre durante il periodo di esercizio l'applicazione risulta molto difficoltosa per l'impossibilità di tenere conto di tutte le variabili che entrano in gioco ed in particolare di quelle di carattere gestionale, prima fra tutte la modalità di coltivazione dei rifiuti.

Nella fase di post-chiusura, infatti, i parametri fisici e geometrici sono costanti e ben definiti venendo meno i limiti che ne pregiudicano la loro applicazione durante la fase di esercizio.

Si può pertanto scegliere di studiare stocasticamente la produzione di percolato in discarica valutando ed assumendo come variabile casuale ciascuno dei fattori che influenzano e concorrono alla chiusura del bilancio idrologico. Ci si può orientare verso lo studio della distribuzione di probabilità congiunta del sistema di variabili casuali scelto, ossia di sistema di variabili per le quali è possibile studiare univocamente una corrispondenza tra i valori di volta in volta osservati e per le quali si studiano le reciproche influenze in termini probabilistici.

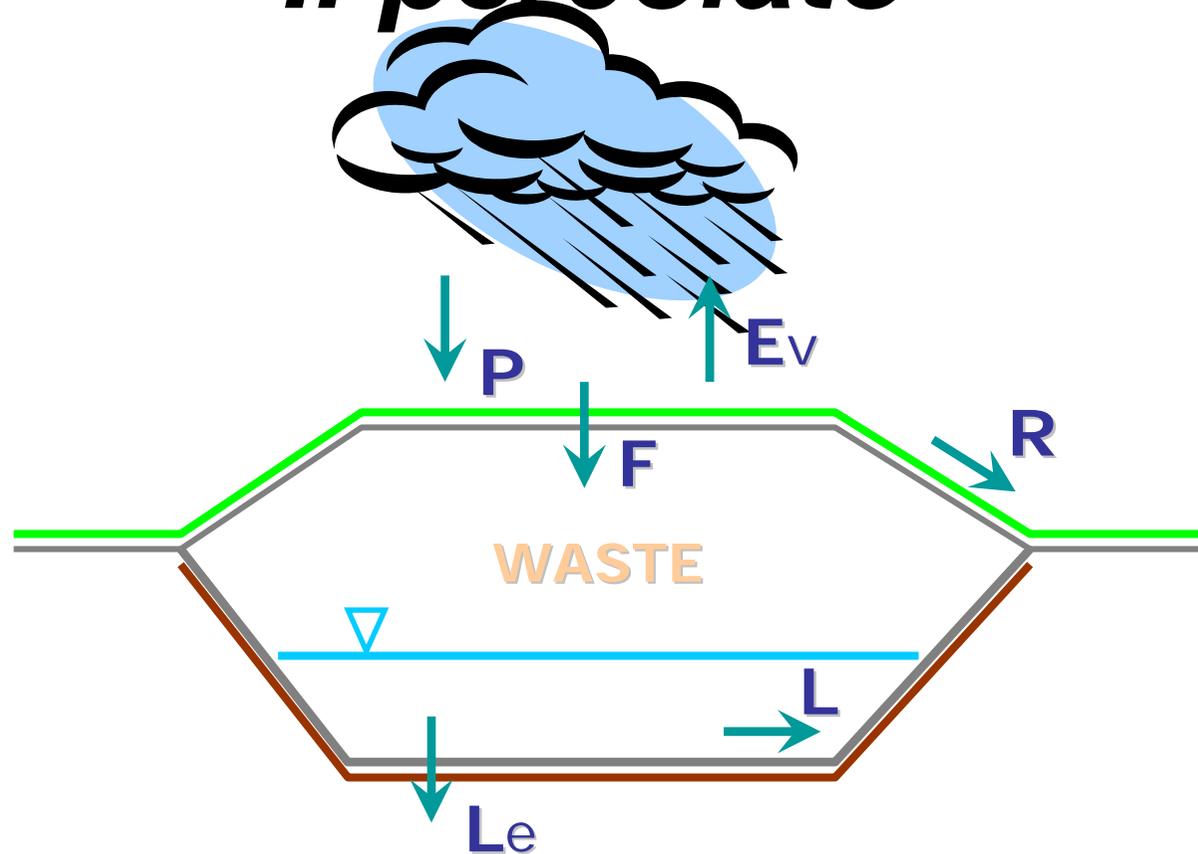
Tra i metodi di analisi, vengono sempre più adottati i modelli numerici implementati al computer con appositi programmi, come il codice HELP sviluppato da EPA.

Tra i modelli numerici largamente utilizzati che simulano la produzione di percolato in discariche attive si ricorda il *Deterministic Multiple Linear Reservoir Model* (DMLRM) ed il *Stochastic Multiple Linear Reservoir Model* (SMLRM), messi a punto da due ricercatori dell'Università della Florida.

Componenti del ciclo idrologico:

1. Il dato di partenza in un bilancio idrologico è costituito dalle **precipitazioni** (medie o riferite ad un periodo di tempo e stimate sulla base di registrazioni effettuate in prossimità del sito) che devono essere scomposte nelle varie componenti del bilancio idrologico (espresse come percentuali della precipitazione totale), che rappresentano i vari fenomeni che contribuiscono a determinare il flusso dell'acqua nel sito in esame. In particolare una volta che le precipitazioni raggiungono la superficie della discarica insieme all'eventuale acqua di irrigazione e di ruscellamento superficiale, l'acqua in parte :
 - viene intercettata dalla vegetazione presente e successivamente evapora;
 - viene immagazzinata temporaneamente sulla superficie sotto forma di neve o ghiaccio (per i climi più freddi quando la temperatura lo consente) per poi sciogliersi ed evaporare;
 - scorre lungo la superficie della copertura (*ruscellamento o runoff*) e si allontana dalla discarica
 - infiltra nel terreno
2. La porzione che si infiltra nel terreno in parte:
 - viene restituita all'atmosfera dalle piante attraverso le radici per **evapotraspirazione** (ET);
 - evapora direttamente attraverso la superficie;
 - viene immagazzinata nel terreno
 - filtra attraverso il terreno di copertura superando la zona di evaporazione (più superficiale) determinando quindi un battente agente sulla barriera di rivestimento.
3. Questa porzione di acqua in parte:
 - viene trattenuta da barriere di impermeabilizzazione se presenti;
 - viene raccolta dal sistema di drenaggio, se è previsto nella copertura;
 - raggiunge i rifiuti;
4. La porzione di acqua che raggiunge i rifiuti, in parte:
 - viene assorbita (umidità del rifiuto)
 - viene rilasciata e coincide con il percolato.

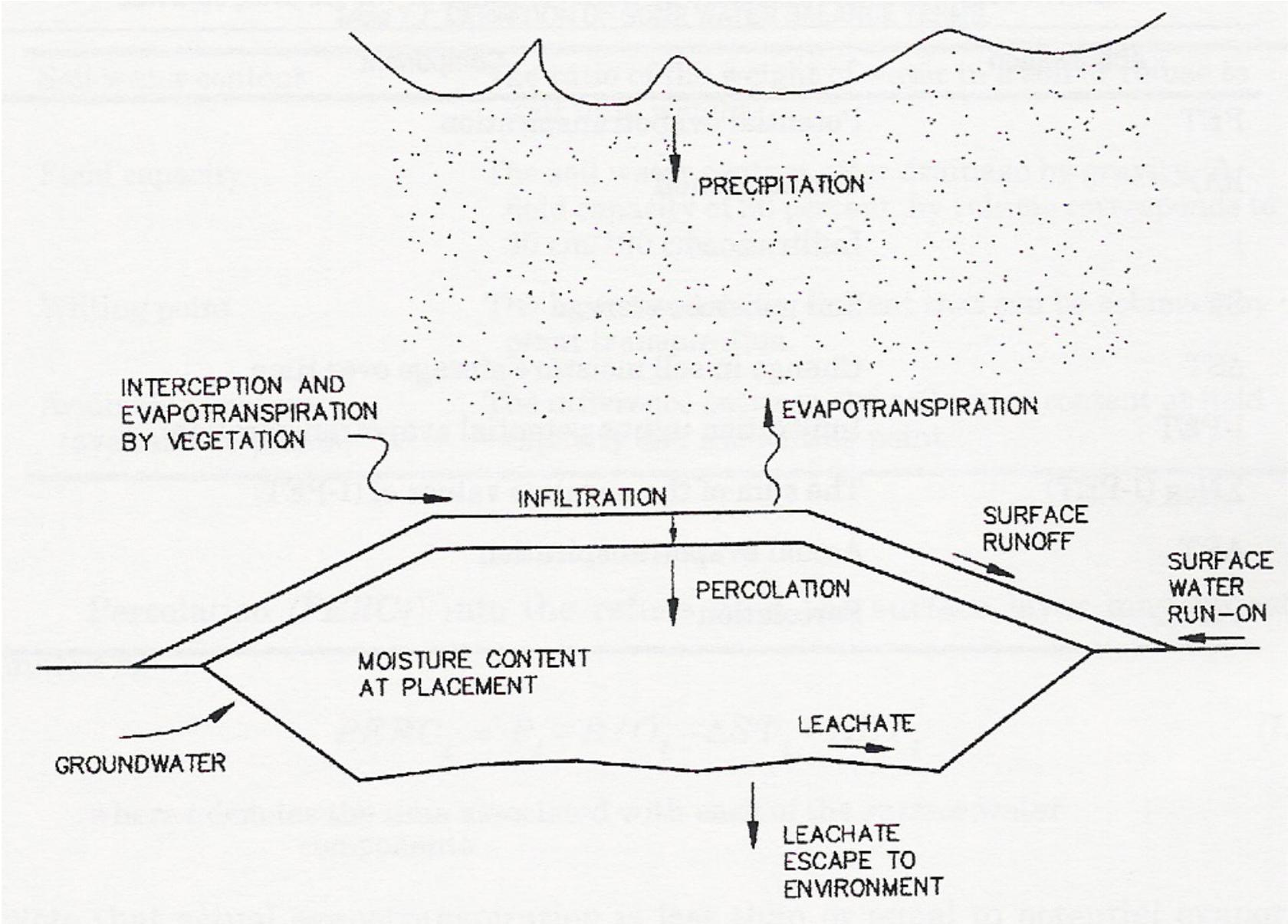
Il percolato



La *capacità di campo* (Field Capacity, FC) è il contenuto volumetrico di acqua del suolo sottoposto ad una suzione di 0.33 bar o il contenuto volumetrico dopo un periodo prolungato di esposizione alla forza di gravità con conseguente drenaggio dell'acqua in eccesso.

FC

- Tipo di rifiuto
- Porosità
- Dimensione dei vuoti



Modelli per stima della produzione di percolato:

Il primo modello, DMLRM, schematizza la discarica come somma di tre serbatoi lineari e paralleli. Il primo serbatoio include la parte superiore della discarica con un'altezza pari a 1,2 metri, corrispondente ad una profondità in cui l'evapotraspirazione gioca un ruolo importante; il secondo serbatoio rappresenta la regione più interna, in cui il valore di umidità è dettato dalla quota parte delle precipitazioni che il precedente serbatoio non riesce a catturare ed infine il terzo serbatoio approssima il deflusso che avviene in superficie.

Il modello successivo, SMLRM, è un adattamento stocastico del modello precedente: tre parametri, quali precipitazioni, efficienza di intercettazione e contenuto di umidità nei rifiuti e nella copertura, sono definite come funzioni di probabilità. Passando da una accuratezza del 4% ad una accuratezza del 48% nella predizione del percolato prodotto, tale modello viene applicato anche quando i dati e le informazioni relative alla discarica sono scarse.

Negli ultimi 40 anni si sono sviluppati vari modelli di bilanci idrologici: questi modelli qualitativi considerano la discarica come una "scatola nera" ed eseguono un bilancio di materia di acqua che entra (precipitazioni, umidità dei rifiuti, acqua contenuta nei fanghi provenienti da impianti di depurazione o ricircolo di percolato, etc...) ed acqua che esce dal sistema (evaporazione, acqua consumata durante le reazioni biochimiche, etc...). Tali modelli sono oggi largamente utilizzati e costituiscono un valido aiuto alla progettazione delle discariche.

Il modello più utilizzato e accreditato è HELP sviluppato da EPA.

USA

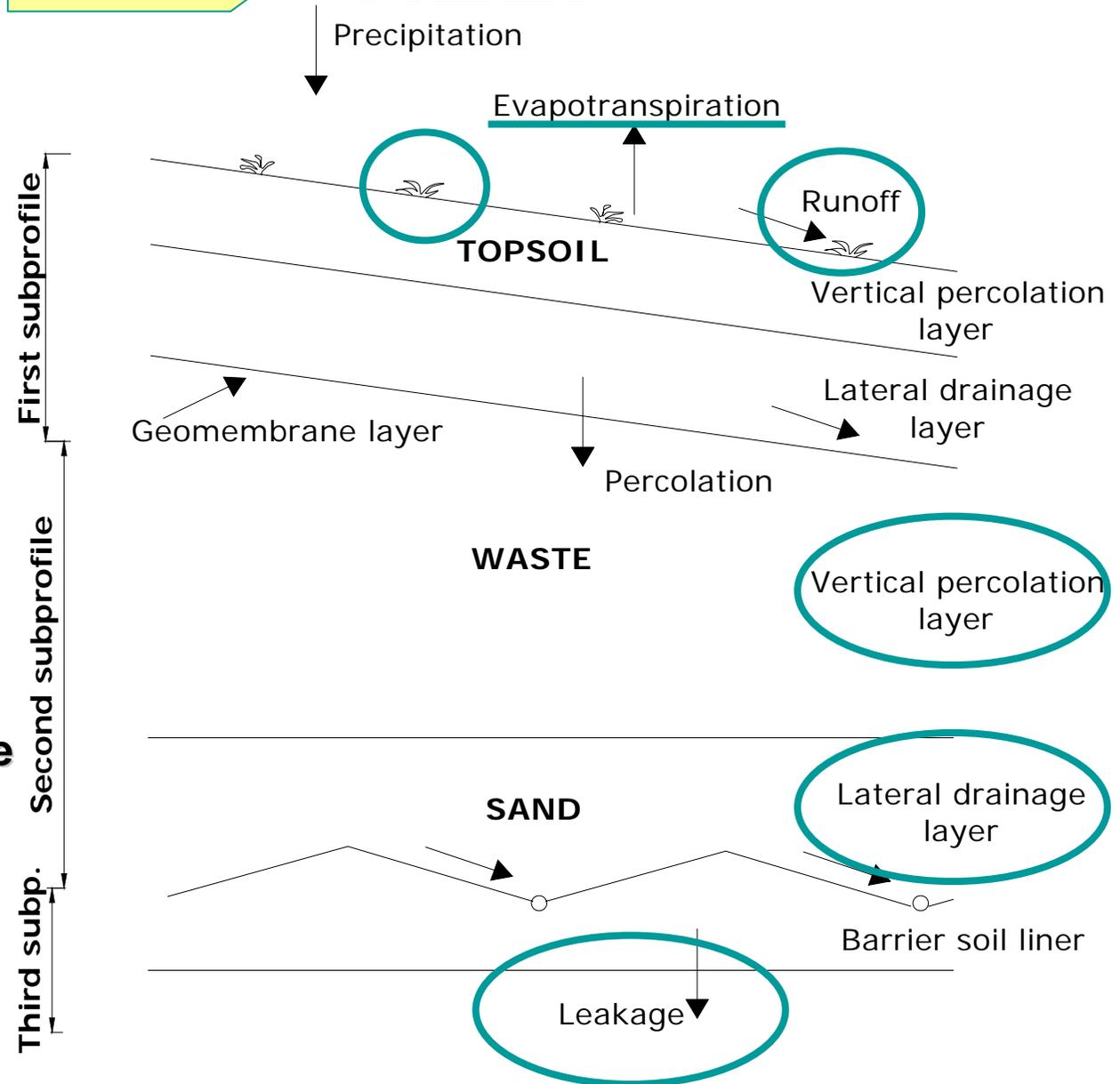
EPA

HELP

Quasibidimensionale Deterministico

- **Bilancio idrologico**
 1. **Crescita vegetazione**
 2. **Penman**
 3. **CN**
- **Percolazione verticale**
- **Drenaggio laterale**
- **Barriera di suolo**

Assistere la
progettazione



Input del software

WEATHER DATA:

- ***Latitudine***
- ***Spessore zona evaporativa***
- ***Umidità relativa***
- ***Piogge giornaliere***
- ***Temperature giornaliere***
- ***Radiazioni solari giornaliere***

CURVE NUMBER:

- ***Informazioni vegetazione***
- ***Pendenza***
- ***Lunghezza***

SOIL DATA:

- ***Area cella***
- ***% runoff***
- ***Umidità iniziale***
- ***Spessori***
- ***Tessiture terreno e rifiuto***
- ***HDPE***

1. ***Porosità***
2. ***FC***
3. ***WP***
4. ***Umidità***
5. ***Conducibilità Idraulica***



3. Caratteristiche qualitative del percolato:

Le caratteristiche qualitative del percolato subiscono variazioni nel corso del tempo per effetto delle diverse reazioni chimiche che avvengono nel corpo della discarica. Risulta pertanto difficile parlare in termini generali delle possibili concentrazioni di elementi del percolato ed è necessario distinguere caso per caso.

In *Figura* sono riportati i valori delle concentrazioni massime e minime dei principali elementi ottenuti in quantità significative nel percolato.

Una spiegazione degli ampi intervalli di variazione dei valori è da ricercarsi non solo nelle tipologie di rifiuti depositati in discarica ma anche in altri fattori quali l'età, la tipologia della discarica, la climatologia, etc.

Il valore del **pH** oscilla in genere in un intervallo a cavallo della neutralità: da valori minimi (pH=5-6) corrispondenti al campo acido, a valori massimi in campo basico (pH=8.9), a seconda dell'età della discarica.

Il **carico organico**, valutato sia come BOD che come COD, mostra una eccezionale variabilità. Si passa da valori inferiori ai 1000 mg/l a valori superiori a 50000 mg/l. Di notevole interesse risultano anche i rapporti di COD/TOC e BOD/COD indici della qualità dei composti organici presenti e della biodegradabilità.

Anche **l'ammoniaca e l'azoto** presentano variabilità di valori. L'azoto ammoniacale, caratteristico dei percolati "**vecchi**", è l'inquinante verso il quale si concentrano i maggiori sforzi di depurazione.

Sono presenti nel percolato dei **metalli** alcuni in concentrazioni significative come il ferro il manganese e lo zinco ed altri in quantità ridotte come il cromo e il cadmio.

Parametri			Minimo	Massimo	Numero osservazioni
pH			5,76	8,61	55
BOD ₅	O ₂	mg/l	300	23.000	43
COD	O ₂	mg/l	890	56.640	55
Ammoniaca	N-NH ₄ ⁺	mg/l	26,6	1.494	39
Azoto organico	N	mg/l	6,5	510	39
Acidi volatili		m ² /l	2,41	237	35
Fosforo	P	mg/l	0,37	23	42
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	0,12	39
Cromo	Cr	mg/l	0,02	0,83	39
Ferro	Fe	mg/l	4,7	600	43
Manganese	Mn	mg/l	0,16	68,7	43
Nichel	Ni	mg/l	0,06	1,71	39
Piombo	Pb	mg/l	0,05	2,35	39
Rame	Cu	mg/l	0,02	0,6	39
Zinco	Zn	mg/l	0,10	4,25	39

Caratteristiche qualitative del percolato

Fra le valutazioni che si effettuano sul percolato si va a misurare anche l' AOX (Adsorbale Organic Halogen), tale parametro rappresenta la somma dei composti organici alogenati assorbiti, sostanze cancerogene.

I rifiuti solidi urbani sono un habitat naturale di numerosi ***microrganismi*** di cui alcuni anche patogeni. Le famiglie dei microrganismi maggiormente presenti in discarica sono i batteri. E' stata dimostrata l'esistenza di una correlazione tra la composizione batterica e l'età delle discariche, è importante ricordare che la sopravvivenza dei batteri è inibita dalle alte temperature e dai bassi valori del pH.

La degradazione dei rifiuti organici alla quale si associa la produzione di biogas, viene operata da una flora batterica anaerobica che si sviluppa naturalmente entro l'ammasso di rifiuti il cui contenuto di ossigeno è prossimo a zero.

E' implicito che nel breve periodo che segue la collocazione del rifiuto in discarica, la presenza di ossigeno intrappolato nel materiale, fa sì che la degradazione aerobica sia predominante su quella anaerobica.

I componenti dei rifiuti suscettibili della biodegradazione sono essenzialmente carboidrati, grassi e proteine, che subiscono le trasformazioni.

Come si vede le trasformazioni biochimiche portano alla produzione di acidi volatili in seguito convertiti a metano e anidride carbonica. Dalla degradazione dei materiali proteici si ha anche la formazione di piccoli quantitativi di gas indesiderati quali NH₃, H₂S ed altri che si accompagnano al biogas prodotto.

Caratteristiche qualitative del percolato

La trasformazione biochimica è in realtà scindibile in due fasi distinte operate da due diversi ceppi batterici:

1. trasformazione acida operata da batteri acido produttori capaci di trasformare i materiali biodegradabili in acidi volatili. In questa fase si ha un abbassamento del valore del pH del rifiuto;
2. trasformazione degli acidi volatili in metano ad opera dei batteri metanigeni. Si tratta di una trasformazione basica in grado di innalzare il pH debolmente alcalino (7,5-8,2).

Il completamento di entrambe le fasi porta alla distruzione dei solidi volatili di cui si compone il rifiuto e quindi alla mineralizzazione dello stesso.

Per quanto concerne il percolato, è ovvia la diretta conseguenza sulle caratteristiche qualitative. Le variazioni più rilevanti sono le seguenti:

- il pH tende verso valori crescenti nel tempo, passando dal campo acido nel primo periodo della discarica (fase acida) al campo basico (fase metanigena);
- il contenuto di sostanza organica espresso in termini di BOD e COD, è elevatissimo inizialmente mentre diminuisce successivamente per effetto della degradazione biologica e del dilavamento dell'acqua di percolazione;
- il rapporto BOD/COD, indice della sostanza organica biodegradabile sulla totale, diminuisce fortemente con l'età della discarica a causa della demolizione della sostanza organica biodegradabile
- le concentrazioni di ione ammonio sono elevate a seguito dell'idrolisi e della fermentazione delle proteine della sostanza organica biodegradabile nella prima fase acetica, mentre dovrebbero teoricamente diminuire nel tempo per effetto della carenza di substrato, nella seconda fase (metanigena)
- il contenuto di metalli è molto elevato in discariche giovani, i cui bassi valori di pH favoriscono la solubilizzazione, mentre poi tende generalmente a diminuire con il tempo;
- i solfati in ambiente anaerobico vengono ridotti a solfuri e mostrano pertanto un andamento decrescente, i cloruri mostrano una diminuzione per effetto del contenuto dilavamento.

Caratteristiche qualitative del percolato:

Le caratteristiche progettuali delle discariche e le loro modalità di gestione sono determinanti sulla quantità del percolato prodotto. Non risulta tuttavia semplice determinare quali siano i parametri effettivamente in grado di influenzare la qualità del percolato e come esse pesino sul bilancio idrologico.

Un primo fattore di dipendenza è sicuramente costituito dal tipo di rifiuti depositati in discarica (si ricordi come esso è variabile nel tempo).

Per quanto concerne la modalità di gestione è possibile accelerare i processi di decomposizione della sostanza organica, in quanto alla fase metanigena è associato un percolato di migliore qualità.

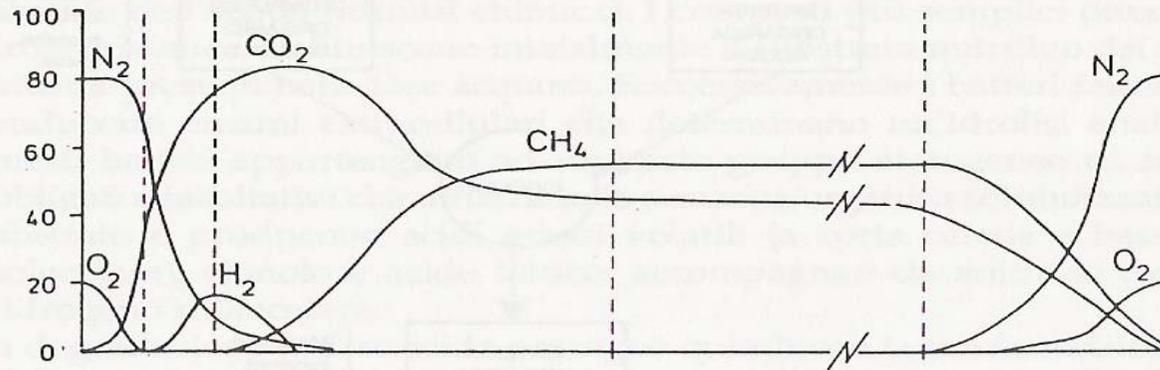
A tale scopo è possibile:

- aggiungere ai rifiuti soluzioni tampone o ricche di nutrienti
- aggiungere ai rifiuti fanghi di depuratori
- aggiungere ai rifiuti compost o sostanze similari
- ricircolare il percolato nel corpo della discarica

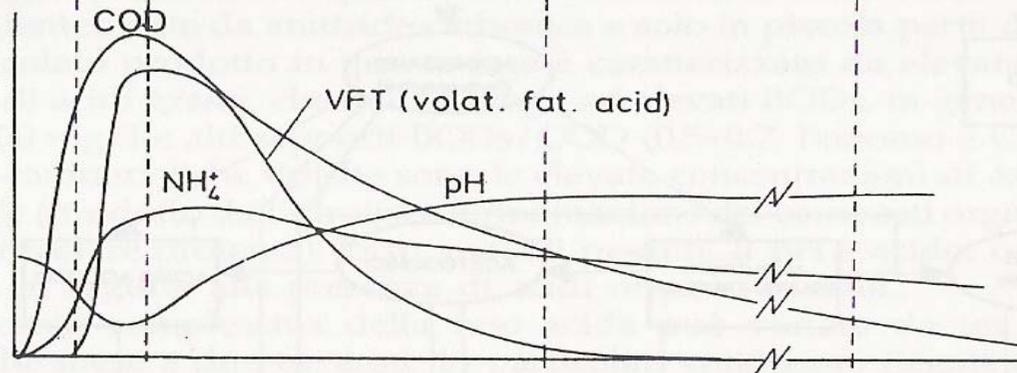
Esistono, inoltre, accortezze progettuali che possono andare ad influire sul bilancio idrologico. Tra di esse si ricordano:

- la scelta del materiale e dello spessore dello strato di copertura superficiale;
- la necessaria separazione delle acque bianche durante la coltivazione della discarica;
- la manutenzione delle piante e del manto erboso del terreno di copertura finale
- le modalità di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti;
- il grado di compattazione del rifiuto;
- il tempo di coltivazione e lo spessore dello strato di rifiuti depositati.

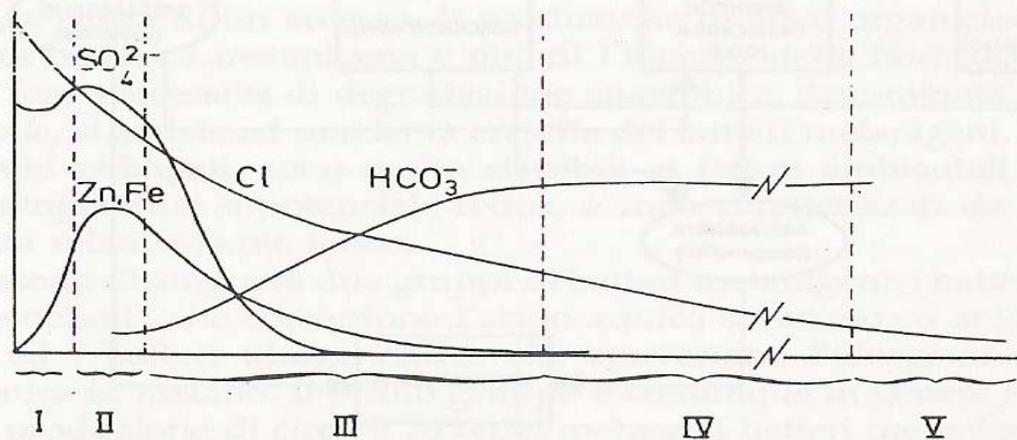
Composizione del biogas, % vol.



Percolato



Percolato



4. Trattamento e smaltimento del percolato:

Il percolato rappresenta uno dei liquami più difficili da depurare. La difficoltà non è solo dovuta all'entità del carico inquinante, ma anche alla loro variabilità del tempo.

Infatti come già ampiamente detto in precedenza i composti inquinanti del percolato oltre a derivare dalla natura e dalla composizione del rifiuto, sono il risultato dei processi chimici, fisici e biologici della decomposizione che avvengono nel corpo della discarica nel corso del tempo. Inoltre a complicare il problema esiste in fase di progettazione anche la difficoltà di previsione del volume di percolato prodotto esso può essere determinato solo inseguito alla raccolta nelle apposite cisterne.

Stabiliti quali sono gli obiettivi che si desiderano raggiungere, la scelta del processo da applicare al necessario rendimento di depurazione dipendono ovviamente dalle normative vigenti sugli scarichi. In molti casi può essere opportuno effettuare un pretrattamento in situ.

Gli obiettivi di tale pretrattamento sono :

- ridurre il contenuto di inquinanti a livelli accettabili per lo scarico in fognatura o all'impianto di depurazione;
- fornire un serbatoio polmone o di equalizzazione del percolato raccolto;
- ridurre il volume del percolato che richiede il trattamento vero e proprio.

In Italia adducano il percolato tal quale agli impianti di depurazione; tale soluzione tuttavia è illecita. Infatti alcuni componenti come la frazione non biodegradabile del COD o gli alogenati organici, all'interno degli abituali processi di degradazione vengono degradati solo parzialmente e raggiungono solo i limiti di legge all'uscita dell'impianto per diluizione.

Trattamenti biologici:

Lo stadio biologico, ideale per i percolati provenienti da discariche relativamente giovani, cioè ricchi di sostanza organica facilmente biodegradabile, sostanzialmente acidi volatili, è quasi sempre presente negli schemi di trattamento del percolato.

Possono essere applicati sia i processi di tipo aerobico che di tipo anaerobico.

In entrambi i casi possono tuttavia presentarsi delle limitazioni della crescita batterica per effetto della scarsa presenza di fosforo, che deve pertanto essere aggiunto.

Effettuando un confronto fra i due processi si può affermare che:

1. i processi aerobici sono più rapidi e prevedono rendimenti migliori di depurazione della sostanza organica;
2. i processi anaerobici non comportano le spese di energia richiesta in campo aerobico per la gestione dei dispositivi di areazione;
3. la riproduzione batterica in campo anaerobico è molto più lenta e quindi è minore la produzione di fanghi si supero;
4. i processi anaerobici avendo minori rendimenti di depurazione, possono essere visti come fase preliminare che prevede e in genere necessità di ulteriori stadi prima dello scarico in corpi idrici recettori;
5. i processi anaerobici forniscono la possibilità di effettuare un recupero energetico;

Particolare riguardo va posto nei confronti delle sostanze tossiche presenti nel percolato che possono inibire il processo. La sensibilità a tali sostanze è ridotta da alcuni fattori:

- l'autoprotezione da parte dei microrganismi che, nel caso in cui il transitorio si breve, inglobati nei fiocchi, riescono a non venire a contatto con la sostanza tossica;
- la possibilità che si sviluppi una flora batterica in grado di utilizzare come substrato proprio tali sostanze.

Nel caso in cui la concentrazione delle sostanze tossiche sia particolarmente elevata, è opportuno introdurre a monte della fase biologica uno stadio di pretrattamento per la loro rimozione.

Trattamenti biologici:

Tra le sostanze tossiche si possono ricordare:

metalli: la loro presenza è fondamentale legata al valore del pH e all'equilibrio dei carbonati e dei solfati. In genere essi vengono inglobati nei fiocchi durante il trattamento, tuttavia un pretrattamento con calce può far precipitare sottoforma di idrossidi i metalli presenti;

composti del carbonio: si dovrebbe verificare una naturale attenuazione delle concentrazioni nel tempo e pertanto non dovrebbero essere necessari pretrattamenti. Si può prevedere a monte un lagunaggio dei liquami a scopo di equalizzazione;

ammoniaca: la presenza di alte concentrazioni di NH_3 è riscontrabile sia nei percolati provenienti da discariche di rifiuti urbani e industriali. Entrambe i processi biologici sono in grado di supportare le concentrazioni presenti;

cloruri: possono essere supportati da una biomassa aerobi opportunamente acclimatata, non lo stesso si può dire nei processi anaerobici che, superata la soglia dei 10 g/l, mostrano un effetto marcato sulla mancata produzione di biogas;

solfori: i processi di precipitazione che avvengono in discarica dovrebbero comportare una scarsa presenza di solfori nel percolato. I processi di digestione anaerobica possono facilmente tollerare concentrazioni di 200 mg/l e scarsi effetti sono stati riscontrati anche fino a valori di 400 mg/l.

Processi aerobici:

I processi di tipo aerobico hanno dimostrato di essere affidabili nella rimozione degli inquinanti sia organici che inorganici e, malgrado costi elevati, di essere comunque convenienti.

Uno degli aspetti fondamentali che presentano con tali processi è rappresentato dalla necessità di raggiungere nutrienti al percolato da trattare, in genere fosforo, in quanto altrimenti può essere limitata la crescita dei microrganismi.

La fase aerobica viene in genere associata alla fase anaerobica del trattamento delegandole la funzione di abbattere non solo la frazione di sostanza organica più refrattaria, ma soprattutto altre componenti quali l'azoto che si trovano pressoché inalterate negli effluenti dei processi aerobici.

Tramite l'utilizzo di *lagunaggi areati* è possibile associare alle modeste portate di liquame, lunghi tempi di ritenzione che sono in grado di:

1. permettere alle popolazioni di microrganismi di svilupparsi a sufficienza per compensare le perdite dovute al trascinarsi dell'effluente;
2. consentire la rimozione anche della parte più difficilmente biodegradabile della sostanza organica;
3. mantenere i rendimenti di depurazione abbastanza elevati anche in caso di basse temperature esterne.

Le lagune vengono areate con speciali dispositivi che favoriscono lo sviluppo dei processi di degradazione della sostanza organica di tipo aerobico e che agiscono fino in profondità. Le sperimentazioni fino ad ora effettuate hanno mostrato ottimi risultati nel caso in cui il rapporto del BOD5/COD fosse maggiore di 0,4.

Risultati di laboratorio portano ad avere rendimenti di rimozione della sostanza organica superiori al 95%, malgrado ciò però non sono molte le applicazioni su scala reale di tale procedimento. I motivi di perplessità risiedono nelle inevitabili differenze che si hanno tra una situazione costante nel tempo e una variabile, difficilmente controllabile, come una laguna di notevoli dimensioni costruita in prossimità di una discarica.

Processi aerobici:

La sostanziale differenza fra il lagunaggio aerobico e il processo a *fanghi attivi* è rappresentata dalla possibilità di ricircolare la biomassa nella vasca di ossidazione; è possibile così avere una concentrazione di microrganismi in vasca da tre a cinque volte superiore a quella delle lagune areate.

Gli svantaggi di un impianto a fanghi attivi nei confronti del lagunaggio areato sono essenzialmente due:

1. la necessità di dotare di una vasca di sedimentazione l'impianto al fine di poter separare sia la biomassa da ricircolare che quella di supero da addurre a smaltimento;
2. la difficoltà di gestione in quanto il processo risulta essere più complesso.

Mediante tale processo, oltre alla rimozione della sostanza organica, è possibile ottenere anche la nitrificazione dell'azoto presente.

Il processo di nitrificazione acquista maggiore efficacia nel caso in cui il percolato provenga da una discarica in fase metanigena. In tal caso il percolato si presenta con elevate concentrazione di azoto, un pH di circa 8 e povero di sostanza organica.

I *biodischi* e i *reattori a letto* fisso sono caratterizzati da processi biologici che, seppur di tipo aerobico, differiscono da quelli delle vasche a fanghi attivi per il fatto che la biomassa non è presente in forma di fiocchi nella massa d'acqua da trattare, ma adesa a particolari supporti (biodischi), o al materiale di riempimento (letti percolatori). La fornitura di ossigeno avviene perciò in tali processi con bassi costi energici.

Se da una parte non si possono depurare con tale sistema percolati provenienti da discariche di giovane età, per effetto delle inevitabili ostruzioni causate dalla precipitazione sia delle componenti inorganiche che della biomassa stessa, dall'altra deve essere rilevato che in molti casi i processi di nitrificazione sono più efficienti.

Processi anaerobici:

Nei percolati giovani, un processo di tipo anaerobico può essere la soluzione più efficace per l'abbattimento della maggior parte delle sostanze organiche abbondantemente presenti.

Per quanto concerne l'autosostentamento del processo anaerobico del processo anaerobico si stima che la concentrazione minima di sostanza organica debba essere circa di 7000 mgCOD/l .

Una delle principali controindicazioni dei processi di tipo anaerobico è costituita dalla quasi totale inefficacia nei confronti dell'azoto ammoniacale; è pertanto opportuno prevedere dei sistemi di abbattimento prima o dopo lo stadio di trattamento anaerobico.

Un'altra motivazione che spinge ad integrare il processo anaerobico con uno aerobico è costituita dalla cattiva qualità degli effluenti dei processi anaerobici. Infatti il carico organico dell'effluente, malgrado la forte riduzione, risulta essere in genere troppo elevato, ed è quindi necessario, prima dello scarico nel corpo idrico ricettore un successivo stadio di degradazione aerobica.

Fra i trattamenti di tipo anaerobico si hanno : i filtri anaerobici, i reattori Upflow Anaerobic Sludge Blanket e i lagunaggi e di gestori anaerobici.

I bacini di *lagunaggio anaerobico* vengono solitamente posti in testa alla linea di trattamento. Essi infatti oltre alla propria funzione depurativa sono anche in grado di rendere uniformi le caratteristiche qualitative e quantitative del percolato.

Nei processi anaerobici, come già affermato non avviene la rimozione dell'azoto, ed inoltre avviene l'idrolisi dell'azoto organico, che viene pertanto trasformato in ammoniaca. Esiste così l'effettiva possibilità che un percolato in uscita da un lagunaggio abbia una concentrazione di ammoniaca maggiore di quella riscontrabile nello stesso percolato in ingresso.

La concentrazione di metalli è invece in genere fortemente ridotta effetto dell'inglobamento nei fiocchi di biomassa in sedimentazione. Alle temperature più basse è stata riscontrata una notevole lentezza nei processi di rimozione.

Si è inoltre riscontrato che con carichi organici abbastanza elevati, i rendimenti di rimozione della sostanza organica decrescono all'aumentare della temperatura. Ciò sarebbe dovuto alla maggiore presenza, alla temperature più elevate, di ammoniaca non ionizzata, che è tossica per i batteri.

Per quanto riguarda i digestori, i processi depurativi sono i medesimi dei lagunaggi, però grazie alla diversa gestione del processo, si ottengono migliori rendimenti di depurazione generalmente in grado di compensare i maggiori costi di investimento e gestione.

Trattamenti chimico-fisici:

I trattamenti di tipo chimico-fisici non costituiscono l'unità fondamentale depurativa del percolato. Tuttavia le norme restrittive sugli scarichi rendono tali processi indispensabili. Infatti anche a valle di un trattamento biologico, il percolato contiene ancora alcune sostanze che ne impediscono lo smaltimento finale che potrebbe essere invece possibile mediante un ulteriore stadio di finissaggio.

Una di queste tecniche di trattamento è rappresentata dalla *chiariflocculazione*.

Si può affermare che la chiariflocculazione con sali di calcio, ferro e alluminio non è in grado di ridurre il carico organico del percolato, in particolare quando quest'ultimo risulta elevato. Buoni risultati può invece offrire sulla rimozione dei metalli della torpidità e del colore.

Una possibile spiegazione della scadente resa di tali trattamenti potrebbe risiedere nella presenza del percolato di acidi grassi volatili a basso peso molecolare che presentano scarse caratteristiche di sedimentabilità.

Solo nel caso di percolati provenienti da discariche in fase metanigena, è possibile ottenere rimozioni della sostanza organica che possono raggiungere anche il 60%. Simili risultati possono inoltre essere ottenuti anche per i composti organici alogenati.

Per la riduzione del COD e degli AOX sono applicate tecnologie quale *l'adsorbimento su carbone attivo*. Per ottenere ottimi risultati è necessario ricorrere a pretrattamenti.

Uno dei principali parametri di processo da considerare è il tempo di contatto: l'esperienza indica che, a causa della complessa natura del percolato, per avere un'alta rimozione delle sostanze indesiderate risulta essere necessario un lungo tempo di contatto.

Ciò porta ad avere costi di impianto più elevati compensati però da minor quantità di carbone necessaria. Studi effettuati su un sistema di trattamento a carboni attivi con pretrattamento biologico mostrano un'efficienza di rimozione del del COD superiore al 94% e superiore all'85% per quanto riguarda gli alogenati.

Trattamenti chimico-fisici:

Uno dei settori di ricerca più recenti e promettenti è rappresentato dalla filtrazione del percolato su particolari membrane. I processi a cui si fa riferimento quando si parla di separazione a membrana sono la microfiltrazione, l'ultrafiltrazione e l'osmosi inversa.

In termini generali si può affermare che:

- **la microfiltrazione:** permette mediante l'impiego di membrane aventi un diametro dei pori variabile tra 0,1 e 1 micron, la rimozione dei solidi sospesi non facilmente sedimentabili. L'impiego di tali membrane è risultato particolarmente efficace nella rimozione dei metalli da acque di scarico di origine industriale precedentemente soggette ad un trattamento di precipitazione chimica per la rimozione dei metalli tossici;
- **l'ultrafiltrazione:** trova il suo campo di applicazione con acque di scarico contenenti oli emulsionati o contaminanti organici ad elevato peso molecolare;
- **osmosi inversa:** mediante l'impiego di membrane aventi un diametro di pori inferiore a 0,002 micron, è in grado di rimuovere dalle acque di scarico i solidi disciolti e i contaminati organici. Nata in tutt'altri settori l'osmosi esterna inversa è già stata applicata al trattamento dei percolati ottenendo permeati ad elevato grado di purezza, salvo il caso di percolati giovani in fase acetica. Le molecole organiche di piccola dimensione in essi contenute non riescono infatti ad essere trattenute dalla membrana e si trovano nel permeato. E' necessario anche un pretrattamento biologico ad esempio mediante il semplice ricircolo del percolato nel corpo della discarica o trattamento a fanghi attivi.

Trattamenti chimico-fisici

Un altro problema può essere costituito dalla eccessiva presenza di azoto nel percolato. Si può ovviare o tramite una correzione del pH o tramite l'inserimento di un successivo ulteriore stadio di osmosi inversa.

Un trattamento che da buoni risultati consiste nella combinazione della microfiltrazione e dell'osmosi inversa.

Tale accoppiata consente il trattamento completo del percolato con una buona rimozione dei contaminanti sia organici che inorganici. Il primo stadio di microfiltrazione rimuove i solidi sospesi, i metalli e la durezza. Nel secondo stadio si concentra la sostanza organica residua (98%), i composti organici (97%) salvo il boro, ed i solidi disciolti (98%).

Va tuttavia sottolineato che l'osmosi inversa presenta il notevole inconveniente di produrre un rifiuto liquido, il concentrato, dalle difficili caratteristiche di trattabilità.

I *trattamenti termici* sono basati su processi di evaporazione e distillazione. Tali impianti possono poi essere corredati di ulteriore stadi di depurazione nel caso se ne presentasse la necessità.

L'ovvia richiesta di energia termica può essere parzialmente soddisfatta dalla combustione del biogas prodotto in discarica.

Il principale vantaggio di tale processo è la compattezza dell'impianto che in un'unica fase ed indipendentemente dal percolato, permette di ottenere alti livelli di concentrazione. Uno dei nodi principali da risolvere è la presenza dell'ammoniaca nel percolato. Si prevede quindi un abbassamento del pH, in modo da comportare il passaggio alla forma salina dell'ammoniaca gassosa.

Trattamenti chimico-fisici

L'abbassamento del pH porta contemporaneamente all'aumento della presenza dell'acido carbonico che si scinde in acqua e anidride carbonica. Quest'ultima deve essere eliminata in un apposito stadio di strippaggio.

Vi sono poi sistemi di trattamento che prevedono l'impiego di *ozono* concepiti per la disinfezione delle acque in sostituzione dei tradizionali sistemi di clorazione.

La proprietà ossidante dell'ozono si esplica fundamentalmente in tre forme:

- ossidazione diretta per addizione del substrato attraverso un processo di ozonolisi;
- ossidazione diretta del substrato per perdita di un atomo di ossigeno;
- ossidazione catalitica per effetto dell'ossigeno presente nell'aria ozonizzata.

Nel caso del percolato l'ozonizzazione può essere efficace nella riduzione degli alogenati e della componente biorefrattaria del COD.

Sono stati inoltre sviluppati sistemi combinati *ozono-raggi UV*. Si realizza una ossidazione a umido in cui l'ozono reagisce con le sostanze organiche con doppio legame sul carbonio. Poiché tuttavia altre sostanze tra cui gli idrocarburi clorurati, non vengono attaccate del solo ozono, si ricorre all'accoppiamento con i raggi UV che sono invece in grado di degradarle. Come risultato delle reazioni si ottengono molecole biodegradabili, anidride carbonica e acidi minerali.

Alternative di smaltimento

Verranno adesso considerate alternative di smaltimento che non prevedono la costruzione di impianti specifici di trattamento di percolato.

La soluzione più comune è rappresentata dal *cosmaltimento* con le acque di rifiuto di origine urbana. Gli impianti di depurazione progettati per il comune liquame da fogna, possono tuttavia non supportare il sovraccarico eccezionale di inquinanti dovuto ad una eccessiva presenza di percolato. Infatti le unità biologiche presenti nel trattamento tradizionale possono presentare malfunzionamenti dovuti sia al sovraccarico organico, nel caso di percolati provenienti da discariche “giovani”, che nell’eccessiva presenza di azoto o altre componenti inorganiche presenti nei percolati “vecchi”.

Esistono problemi di corrosione dovuti all’aggressione del percolato e anche l’eccessiva presenza di metalli può causare inconvenienti sia di natura idraulica, quali ostruzioni, sia di natura biochimica, cattiva sedimentabilità dei fango. Per quanto riguarda invece la possibile limitazione della crescita batterica a causa della carenza di fosforo, si può affermare che difficilmente ciò si verifica in quanto il fosforo del liquame di fognatura è sufficiente a soddisfare le esigenze metaboliche della flora batterica. E’ esistente invece il pericolo di shock batterico per effetto dell’immissione istantanea del quantitativo di percolato da miscelare.

Va sottolineato che le perplessità sull’efficacia del metodo non sono da ricercarsi nella incapacità di rimozione della sostanza organica biodegradabile e dell’azoto, ma nella rimozione dei composti organici alogenati e della componente non biodegradabile del COD.

Il Ricircolo

Il *ricircolo del percolato* nel corpo della discarica può rappresentare una buona ma parziale soluzione del trattamento e dello smaltimento del percolato.

Tale procedimento è fondato sulla convenzione che aumento conseguente dall'umidità dei rifiuti possa accelerare i processi biologici di degradazione in atto sia nei rifiuti che nel percolato stesso.

Si suppone sia così possibile facilitare il raggiungimento della fase metanigena stabile nel corpo della discarica dall'altra parte rimuovere parzialmente alcune delle componenti inquinanti del percolato per favorire le successive fasi di trattamento e smaltimento.

Il ricircolo del percolato si presenta così come un'attraente possibilità di prettrattare il percolato e di ridurre pertanto i costi del successivo e definitivo smaltimento.

Con tale sistema è possibile dunque ottenere:

- un maggiore trasferimento di microbi e nutrienti attraverso i rifiuti che incrementa l'attività microbiologica e la produzione di biogas
- la diminuzione, per effetto dei quantitativi evaporati il volume del liquame da addurre al successivo sistema di trattamento finale;
- la diminuzione della concentrazione di alcuni inquinanti sia organici che inorganici, in particolare l'azoto, che porta alla riduzione del carico organico totale del percolato;
- raggiungimento più rapido della fase metanigena di degradazione dei rifiuti per effetto del conseguente incremento di umidità;
- una dinamica più rapida degli assestamenti che consente di raggiungere abbassamenti del colmo della discarica fino al 30% in tempi rapidi;
- un inferiore tempo di monitoraggio dopo la chiusura della discarica dovuto alla più rapida stabilizzazione dei rifiuti.

Il Ricircolo

In Germania al fine di accelerare ulteriormente l'instaurarsi delle condizioni di metanogenesi, sono stati ottenuti ottimi risultati prevedendo durante la fase di deposizione di rifiuti il posizionamento di un primo strato di rifiuti stabilizzati aerobicamente (compost) di spessore 0,4-0,6 m.

Tale strato è in grado di ridurre al minimo la formazione di acidi volatili nel percolato cui in massima parte è imputabile l'inquinamento organico tipico delle prime fasi di esercizio. Responsabile dell'azione depuratrice sarebbero gli acidi umici che si formano nei rifiuti a seguito dell'esposizione dell'atmosfera dei conseguenti fenomeni biologici ossidativi.

Il circolo del percolato accoppiato a tale accorgimento progettuale oltre alla riduzione del carico inquinante del liquame consente di anticipare l'inizio della produzione di biogas, accelerando nel complesso tutti i fenomeni che conducono alla stabilizzazione dei rifiuti deposti.

La deposizione di un primo strato di compost data la sua consistenza assolve anche al compito di aggiungere una ulteriore protezione meccanica alle opere di impermeabilizzazione e di drenaggio poste sul fondo della discarica.

Non tutti i ricercatori sono però ottimisti sugli effetti della pratica del ricircolo in quanto:

- non è ancora sufficientemente provato che il ricircolo sia effettivamente in grado di favorire la stabilizzazione dei rifiuti depositati ed incrementare la quantità producibile di biogas;
- la realizzazione impiantistica della discarica risulta più complessa ed esiste la completa possibilità che si formino dei cammini preferenziale di ricircolo o che i diffusori si otturino;
- il ricircolo deve essere effettuato solo durante la stagione secca esiste pertanto la necessità di fornire l'impianto di riciclo di serbatoi di stoccaggio e eventualmente di impianti di trattamento;
- è possibile che il percolato vada via arricchendosi di sali e metalli pesanti;
- non è spesso possibile procedere al sistema di ricircolo più efficace cioè quello a spruzzo, (incrementa rispetto ad altri sistemi di spargimento i processi evaporativi e di traspirazione sul colmo della discarica), per le conseguenze igieniche di tale iniziativa;
- talvolta il circolo del percolato ha causato pericolosi allagamenti delle discariche il percolato presenta difficoltà di spargimento a temperature inferiori a 0 °C.

5. Sistema di raccolta del percolato

La realizzazione di una discarica su un'area impermeabile comporta la necessità di drenare, raccogliere e smaltire il percolato che progressivamente si invasa nel punto più basso del settore di scarico.

Il sistema di raccolta del percolato deve essere particolarmente efficiente perché un ristagno sul fondo della discarica comporta:

1. una diminuzione della stabilità dell'ammasso dei rifiuti con la possibile formazione di superfici di scivolamento in grado di provocare smottamenti di frazioni anche considerevoli;
2. un aumento del carico idrostatico di percolato sulla copertura di fondo con la formazione di un battente idrico che regola la potenziale fuoriuscita di liquame e la conseguente immissione nel sottosuolo;
3. peggioramento delle caratteristiche qualitative del percolato che si carica maggiormente di sostanze inquinanti contenute nei rifiuti per effetto di un tempo di contatto più lungo.

Dall'analisi delle pendenze conferite alla zona di deposito e della prevista sequenza temporale delle fasi di riempimento, si giunge alla suddivisione in settori della discarica sulla quale impostare il sistema di drenaggio di fondo. Questo sistema prevede la presenza di condotte principali e secondarie che, seguendo le pendenze naturali o artificiali attribuite, convogliano per gravità tutto il percolato in uno o più punti di raccolta; se la situazione morfologica e le dimensioni della discarica lo permettono, è sempre meglio concentrare in un unico punto le acque di percolazione.

Il percolato viene sollevato dal fondo della discarica per mezzo di pompe in un pozzetto di raccolta situato all'esterno dell'area di deposito; una tale soluzione progettuale presenta i seguenti vantaggi:

- un più efficiente e sicuro raccordo tra il manufatto ed il sistema di impermeabilizzazione;
- una prevalenza di sollevamento decisamente minore rispetto al caso in cui il pozzo si trovasse all'interno dell'area di deposito ed il deposito si innalzasse al di sopra del piano di campagna;
- una stabilità del pozzo evitando assestamenti disomogenei della massa di rifiuti ed urti accidentali da parte dei mezzi operativi presenti nello scarico;
- l'attribuzione di un carattere permanente e definitivo del tracciato delle tubazioni di allontanamento dei diversi flussi idrici che non viene in tal modo intralciato o compromesso dall'attività di deposito.

Il condotto principale di drenaggio, posato lungo l'asse di fondo della discarica, deve avere possibilmente una pendenza continua ed il suo tracciato non deve presentare gomiti o brusche curve.

Al fine di assicurare una velocità sufficiente di trasporto, è opportuno mantenere le pendenze su valori almeno intorno a 2% nel verso longitudinale della condotta principale, ed almeno dell'1% nel senso trasversale delle condotte secondarie.

La rete di drenaggio di fondo deve essere progettata tenendo presente lo sviluppo finale del sistema di captazione del biogas, condotto necessariamente in parallelo col sistema di drenaggio del percolato; infatti un mezzo più permeabile all'acqua è anche più permeabile ai gas e pertanto nei punti in cui si concentrano i maggiori quantitativi di percolato si concentreranno anche i maggiori quantitativi di biogas.

Il sistema di drenaggio del percolato è costituito da una rete di tubazioni in HDPE microfessurate, disposte lungo le linee di impluvio del fondo vasca per drenare il percolato e convogliarlo ai punti di prelievo, e da un tappeto di materiali inerti costituito da sabbia e ghiaia classificata, con la funzione di drenaggio verso le tubazioni fessurate e protezione dei teli sottostanti dai mezzi meccanici utilizzati per la stesura e la compattazione dei rifiuti.

L'interasse medio tra i collettori principali non deve essere superiore a 60 metri; i collettori secondari devono essere posizionati con un interasse medio non superiore a 20 metri e avere un diametro minimo di 125 mm.

Le pendenze degli strati drenanti e delle tubazioni devono essere verificate in relazione ai possibili assestamenti del terreno di fondazione e del sistema di impermeabilizzazione.

Lungo il bordo superiore della vasca viene realizzata una vena drenante continua per impedire eventuali fuoriuscite del percolato all'esterno della vasca; questa vena viene collegata idraulicamente con tubazioni microfessurate disposte lungo il perimetro della vasca e raccordate alle tubazioni di fondo che convogliano il percolato nei pozzi di sollevamento. Tale sistema è finalizzato a realizzare delle linee di flusso preferenziali, caratterizzate da elevata conducibilità idraulica, per consentire un rapido drenaggio del percolato.

Per ciascuno dei settori idraulici in cui è suddivisa la vasca di stoccaggio, è previsto un punto di raccolta e sollevamento del percolato; i manufatti di prelievo sono costituiti da pozzi inclinati lungo la parete della vasca, formati da un tubo in HDPE debitamente ancorato. In ciascun pozzo viene calata una elettropompa sommersa per il prelievo del percolato ed il relativo scarico in una tubazione in HDPE, convogliandolo direttamente alle vasche di stoccaggio provvisorio. Ciascuna delle pompe di sollevamento dovrà essere dimensionata per funzionare poche ore al giorno, anche in occasione di produzioni di percolato conseguente ad eventi meteorici critici.





Sistemi di raccolta

Per lo stoccaggio provvisorio del percolato si deve prevedere l'installazione di serbatoi appositamente dimensionati all'interno di un bacino di contenimento in cemento armato seminterrato. Dal momento che il volume di percolato prodotto è proporzionale allo sviluppo dell'impianto, i serbatoi possono essere installati progressivamente con l'entrata in funzione dei vari settori idraulici.

La posizione planimetrica ed altimetrica dei serbatoi di stoccaggio provvisorio deve essere scelta in modo tale da evitare il pompaggio nel collettore del percolato dal momento che questo giunge nei serbatoi per gravità.

Il fondo dell'invaso è sagomato in modo da convogliare le acque di lavaggio in un pozzetto di raccolta; le acque di lavaggio inquinate da perdite lungo il collettore o dai serbatoi vengono pompate dal pozzetto nei serbatoi mentre le acque meteoriche vengono pompate nel sistema di drenaggio delle acque meteoriche.

Nel complesso, l'impianto deve essere gestito in modo da minimizzare la quantità di percolato presente nella cella; tenendo conto che tutto il sistema deve essere dimensionato sull'evento meteorico critico, con tempo di ritorno decennale, in condizione di gestione ordinaria il battente idraulico di percolato dovrà essere minimo, azionando così giornalmente le pompe di sollevamento.

Infine, dal sistema di stoccaggio provvisorio il percolato viene inviato al trattamento di depurazione con impianto on-site o ad un impianto esterno con apposita cisterna.







BIBLIOGRAFIA

- Xuende Qian, Koerner R., Gray D.,(2002). *Geotechnical aspects of landfill design and construction*. Prentice Hall.
- Andreottola G., Raffaelli A., Ragazzi M., (1996). Mathematical model for assessment of leachate production. *Proceedings sardinia '97, Sixth International Landfill Symposium*.
- Cossu R., de Fraja Frangipane,(1995). *Scarico Controllato di RSU. C.I.P.A. s.r.l.*
- Qasim, Chiang,(1994). *Sanitary landfill leachate*. CRC Press.
- Q.F. Huang, Q. Wang, Y. Yang, L. Dong, (2005). *Influence of landfill structure on leachate characteristics*. Proceedings Sardinia 2005, *Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*
- R. Biquillon, M. Robustelli, M. Poitrenaud, B. Efremenko,(2005). *Characterisation and treatment of composting leachate*. Proceedings Sardinia 2005, *Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*.
- Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S.A., (1993). *Integrated solid waste management*. McGraw-Hill International Editions.