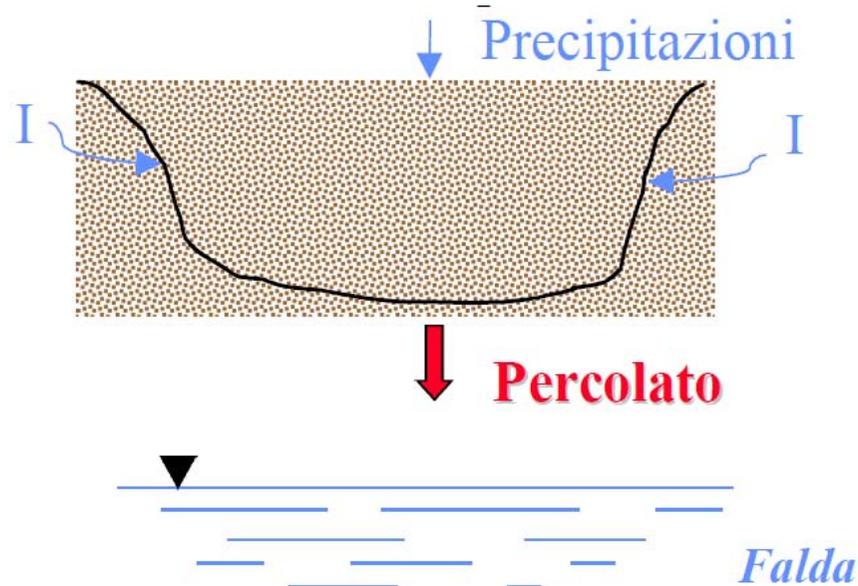
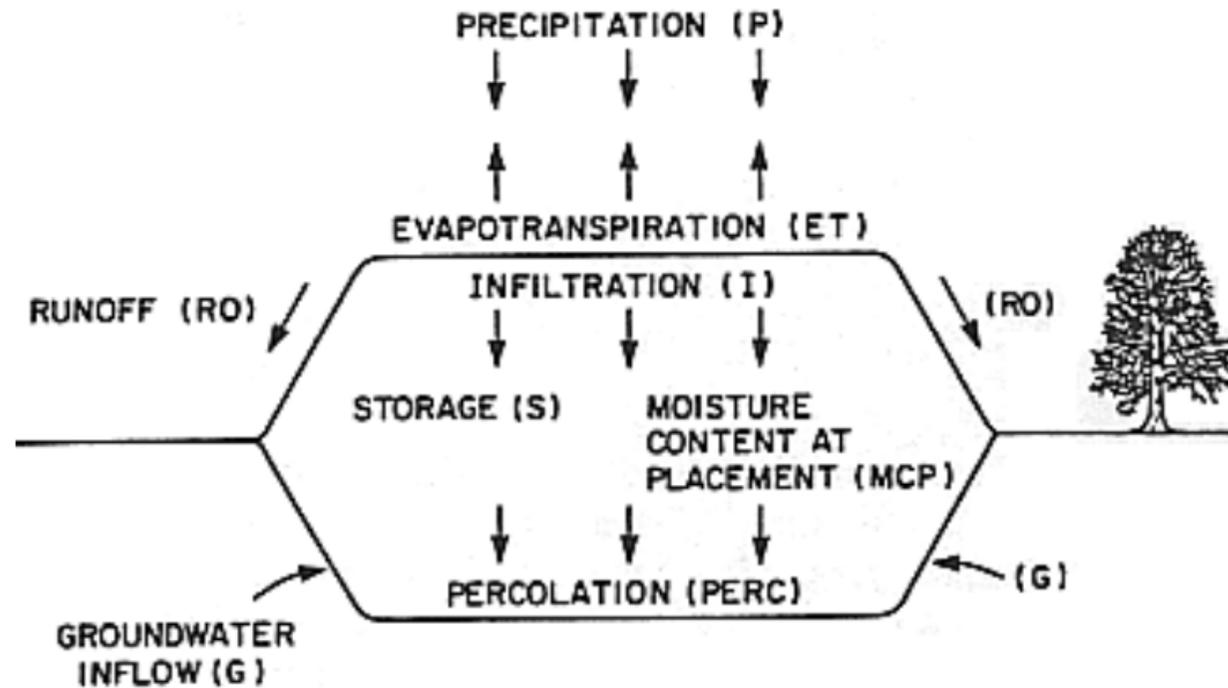


# Caratteristiche e composizione del percolato

- ✓ Il percolato può essere definito come quel liquido che liscivia attraverso i rifiuti solidi.
- ✓ Il percolato è composto dal liquido che entra nella discarica da sorgenti esterne come il drenaggio superficiale la pioggia, l'acqua sotterranea e il liquido prodotto dalla eventuale decomposizione dei rifiuti.
- ✓ Quando l'acqua percola attraverso i rifiuti solidi che si stanno decomponendo, sia il materiale biologico sia i costituenti chimici sono lisciviati.





1. Precipitation (P) falls on the landfill and some of it becomes runoff (RO).
2. Some of P infiltrates (I) the surface (uncovered refuse, intermediate cover, or final cover).
3. Some of Infiltrate evaporates (E) from the surface and (or) transpires (T) through the vegetative cover if it exists.
4. Some of I may make up a deficiency in soil moisture storage (S) (the difference between field capacity (FC) and the existing moisture content (MC)).
5. The remainder of I, after E, T, and S have been satisfied, moves downward forming percolate (PERC) and eventually leachate (L) as it reaches the base of the landfill.
6. PERC may be augmented by infiltration of groundwater (G). The procedure used to analyze these processes is referred to as a water balance (WB), various forms of which are commonly used for the simulation of surface water hydrology.

## Composizione tipica

	Concentrazioni (mg/L)		
	Nuova	Matura	
	(< 2 anni)	(> 10 anni)	
	Intervallo	Tipiche	
BOD <sub>5</sub>	2000-30000	10000	100-200
TOC (total organic carbon)	1500-20000	6000	80-160
COD (chemical oxygen demand)	3000-60000	18000	100-500
Solidi sospesi totali	200-2000	500	100-400
Azoto organico	10-800	200	80-120
Azoto ammoniacale	10-800	200	20-40
Nitrati	5-40	25	5-10
Fosforo totale	5-100	30	5-10
Orto fosfati	4-80	20	4-8
Alcalinità come CaCO <sub>3</sub>	1000-10000	3000	200-1000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Durezza totale come CaCO <sub>3</sub>	300-10000	3500	200-500
Calcio	200-3000	1000	100-400
Magnesio	50-1500	250	50-200
Potassio	200-1000	300	50-400
Sodio	200-2500	500	100-200
Cloruri	200-3000	500	100-400
Solfati	50-1000	300	20-50
Ferro totale	50-100	60	20-200

Physical	Organic constituents	Inorganic constituents	Biological
Appearance	Organic chemicals	Suspended solids(SS), total dissolver solids (TDS)	Biochemical oxygen demand (BOD)
pH	Phenols	Volatile suspended solids (VSS), volatile dissolver solids (VDS)	Coliform bacteria(total; fecal; fecal streptococci)
Oxidation-reduction potential	Chemical oxygen demand (COD)	Chloride Sulfate	Standard plate count
Conductivity	Total organic carbon (TOC)	Phosphate	
Color	Volatile acids	Alkalinity and acidity	
Turbidity	Tannins, lignins	Nitrate-N	
Temperature	Organic-N	Nitrite-N	
Odor	Ether soluble(oil and grease)	Ammonia-N	
	substances(MBAS)	Sodium Potassium	
	Organic functional groups as required	Calcium, Magnesium, Hardness	
	Chlorinated hydrocarbons	Heavy metals (Pb, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Fa, Mn, Hg, Ba, Ag)	
		Arsenic	
		Cyanide	
		Fluoride	
		Selenium	

Composizione chimica del percolato varia al variare dell'età della discarica e dipende dalle condizioni atmosferiche precedenti il campionamento.

Percolato raccolto durante la fase acida (pH basso)



BOD<sub>5</sub>, TOC, COD, nutrienti e metalli pesanti elevati.

Percolato raccolto durante la fase di CH<sub>4</sub> (6,5 < pH < 7,5)



BOD<sub>5</sub>, TOC, COD, nutrienti minore  
Metalli pesanti meno solubili a pH neutri.

Il pH dipende anche dalla pressione parziale della CO<sub>2</sub> presente nel biogas, in contatto con il percolato.

## BIODEGRADABILITÀ DEL PERCOLATO

Varia con la maturazione della discarica:

Indicatore:  $\frac{BOD_5}{COD}$

$\frac{BOD_5}{COD} \geq 0,5$       inizio

$0,4 \leq \frac{BOD_5}{COD} \leq 0,6$       facilmente biodegradabile

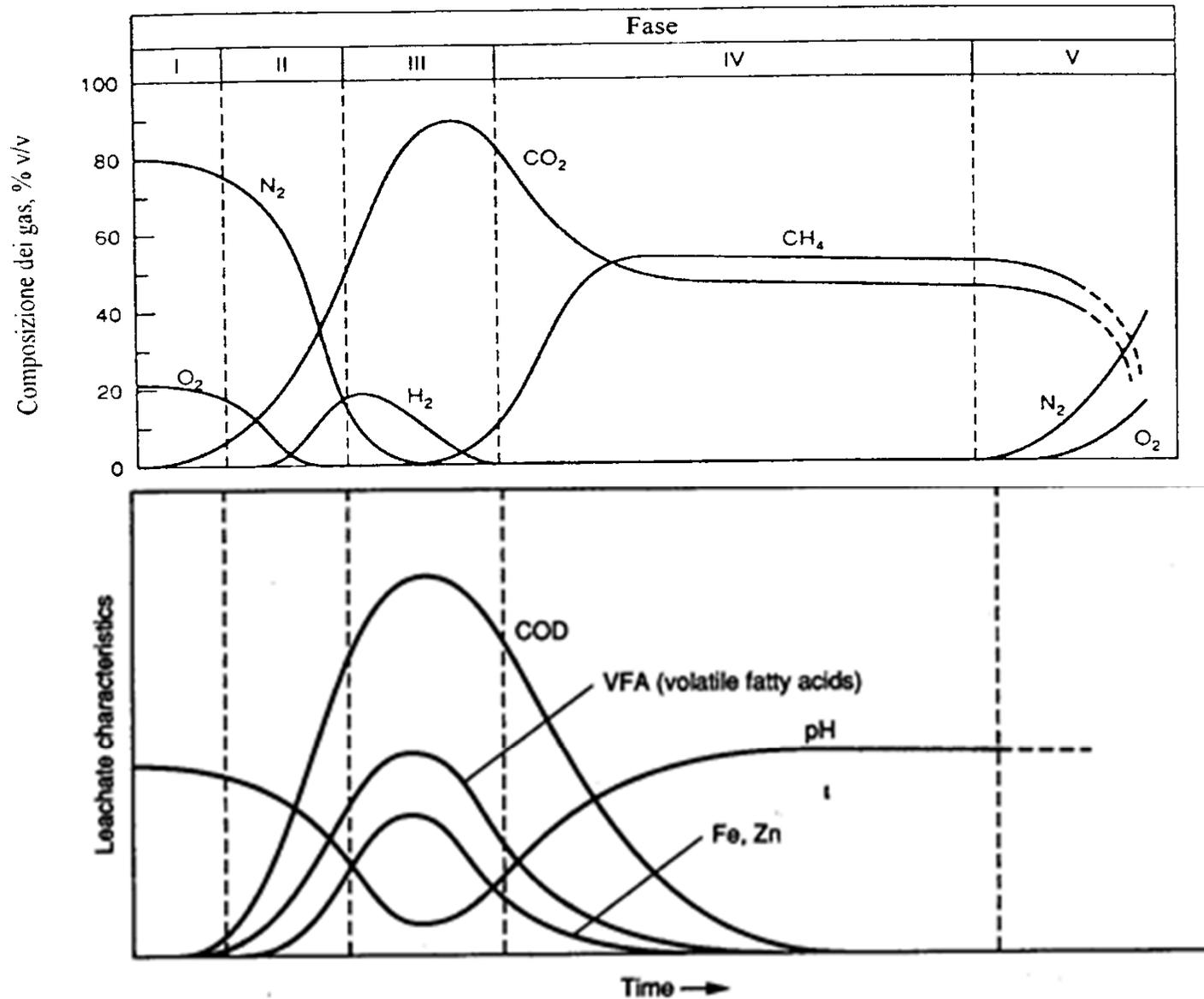
$0,05 \leq \frac{BOD_5}{COD} \leq 0,2$       discarica matura



acidi umici e fulvici  
poco biodegradabili.

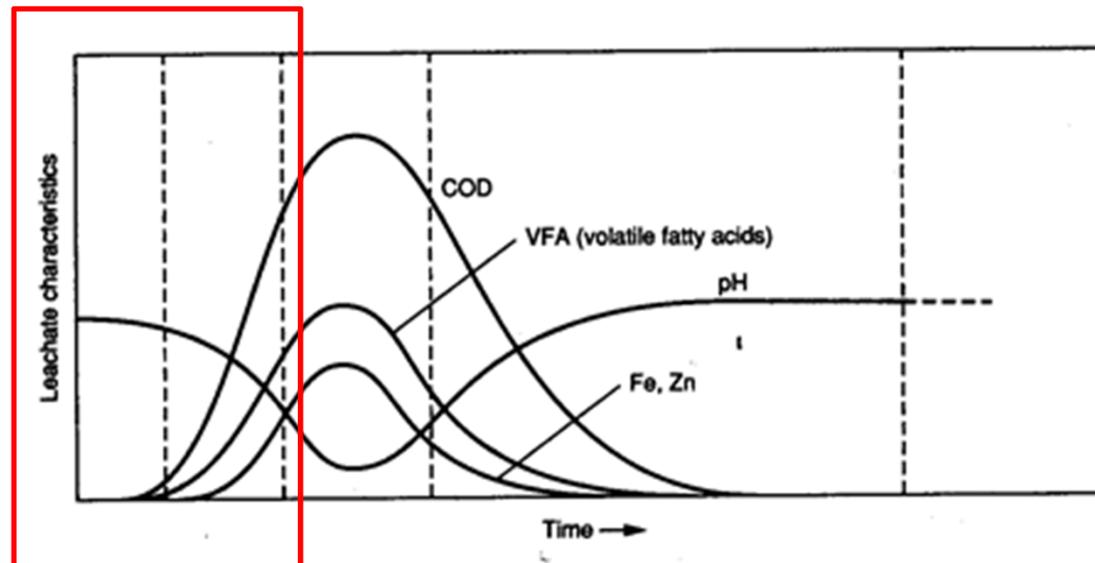
Variabilità nelle caratteristiche del percolato  complicato progettare e costruire un sistema di captazione

# Variazioni di composizione del percolato

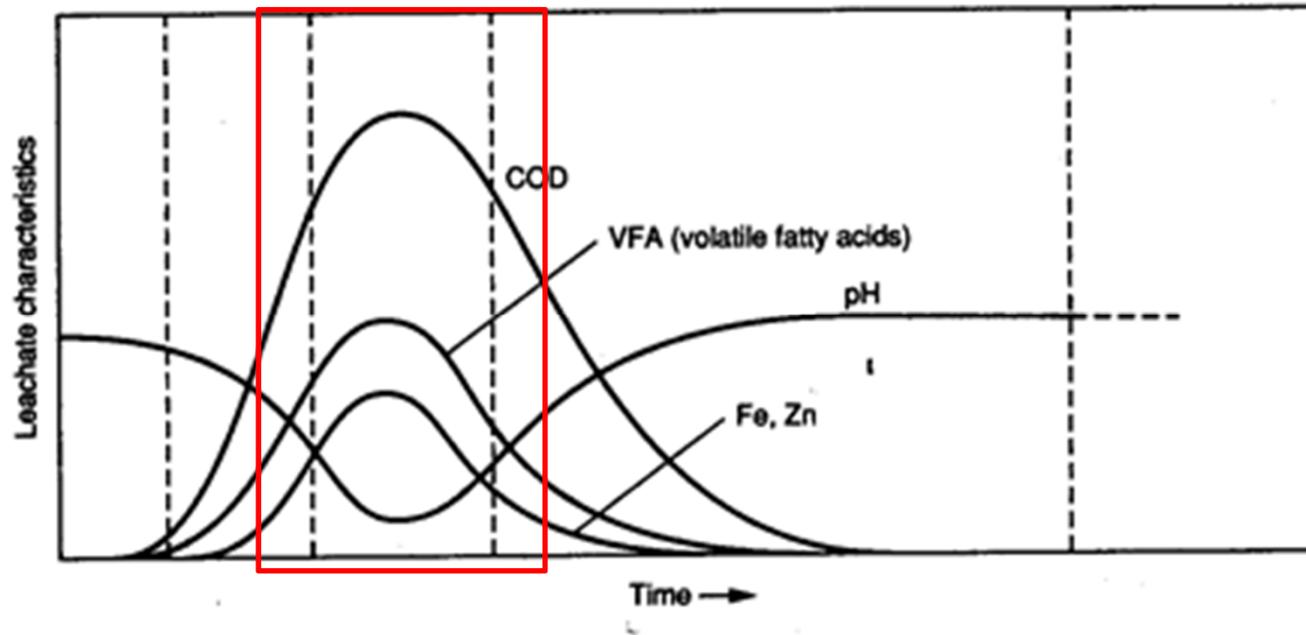


## FASE AEROBICA

- ⇒ Governata da processi di idrolisi di proteine e carboidrati con formazione di composti a minor peso molecolare tra cui anidride carbonica.
- ⇒ Aumento della pressione parziale della  $CO_2$ , che dissolvendosi in acqua forma un acido debole, abbassa il pH e facilita la dissoluzione di sostanze minerali.
- ⇒ Il percolato che si forma è leggermente acido e presenta elevate concentrazioni di COD, i quantitativi sono minimi perché non si è ancora raggiunto l'equilibrio idrologico e perché le reazioni di questa fase tendono a consumare acqua.

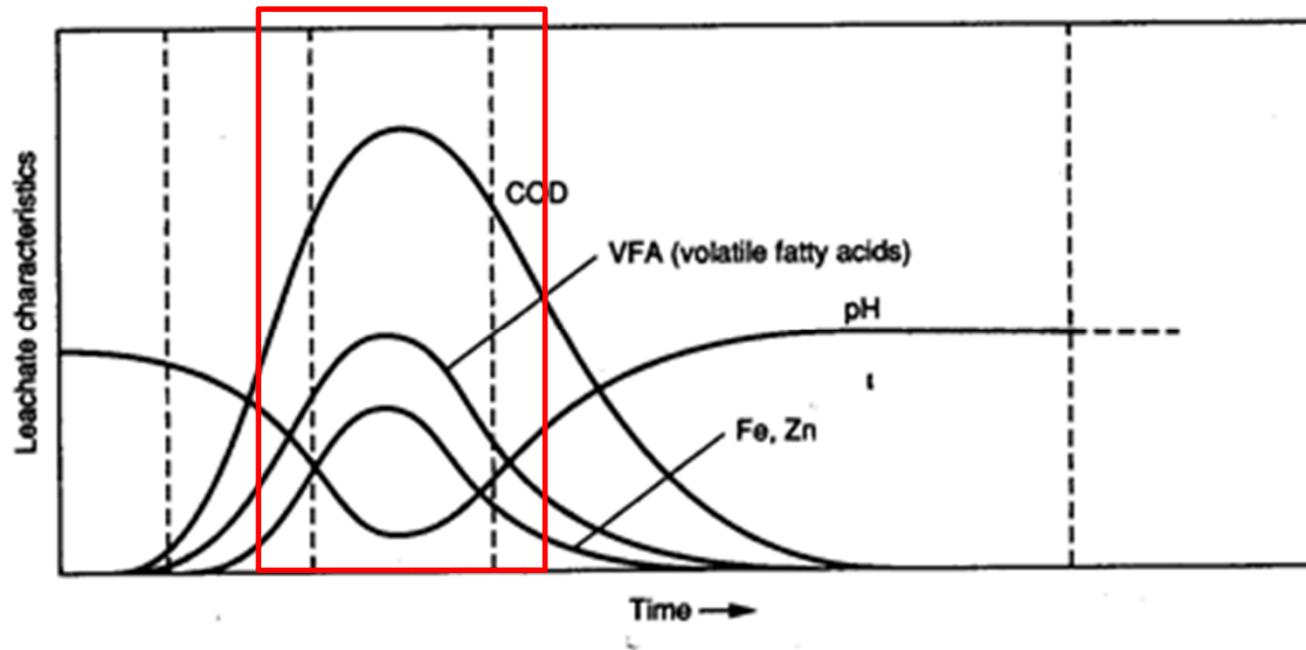


## FASE DI FERMENTAZIONE ACIDA INSTABILE



- ⇒ Inizia quando tutto l'ossigeno è stato consumato.
- ⇒ Sono coinvolte numerose specie batteriche che ossidano acidi grassi, zuccheri e amminoacidi.
- ⇒ A partire dal glucosio si possono formare gli acidi organici acetico, butirrico e propionico che insieme alla  $\text{CO}_2$ , la cui concentrazione continua ad aumentare, fanno abbassare il pH del percolato fino a valori compresi tra 5,5 e 6,5.

## FASE DI FERMENTAZIONE ACIDA STABILE

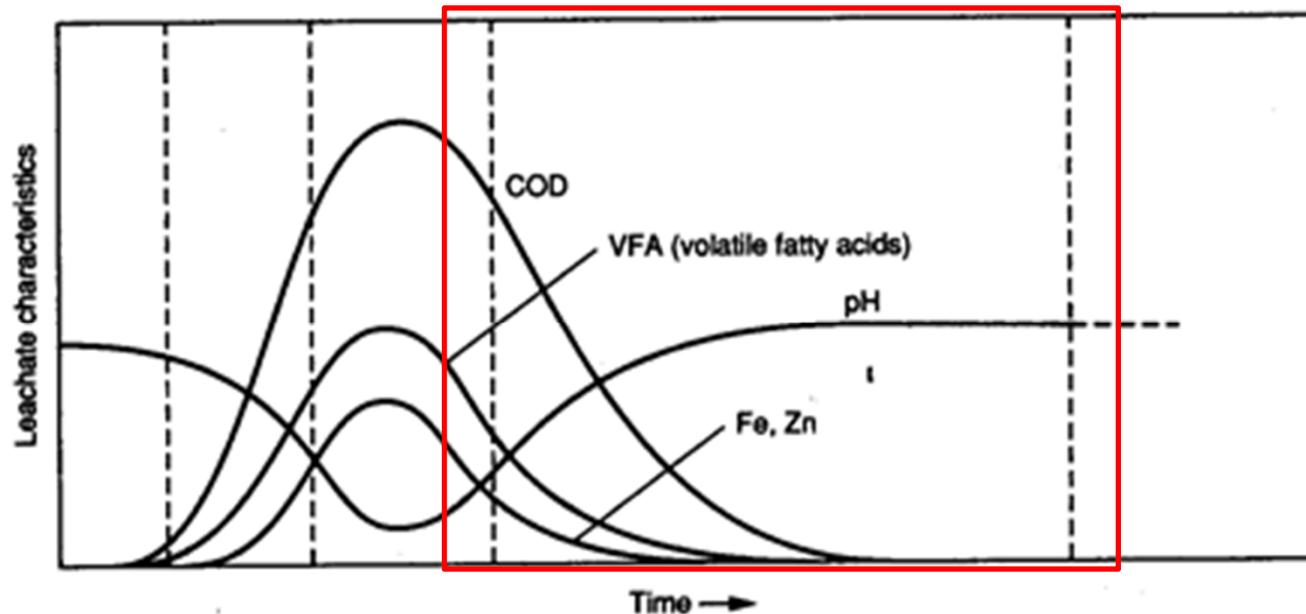


Viene prodotto per lo più acido acetico.

Il percolato è caratterizzato da alti valori di  $BOD_5$ , in genere compresi tra 10000 e 30000 mg/l, e alti rapporti  $BOD_5/COD$ , in genere tra 0,5-0,7.

Ciò indica che una grande frazione della materia organica solubile è rapidamente degradabile. Presenta inoltre una natura fortemente aggressiva, causa della dissoluzione di diversi elementi presenti nei rifiuti come ferro, manganese, zinco, calcio, magnesio, il pH è ancora acido e si hanno anche alte concentrazioni di ione ammonio.

## FASE METANIGENA



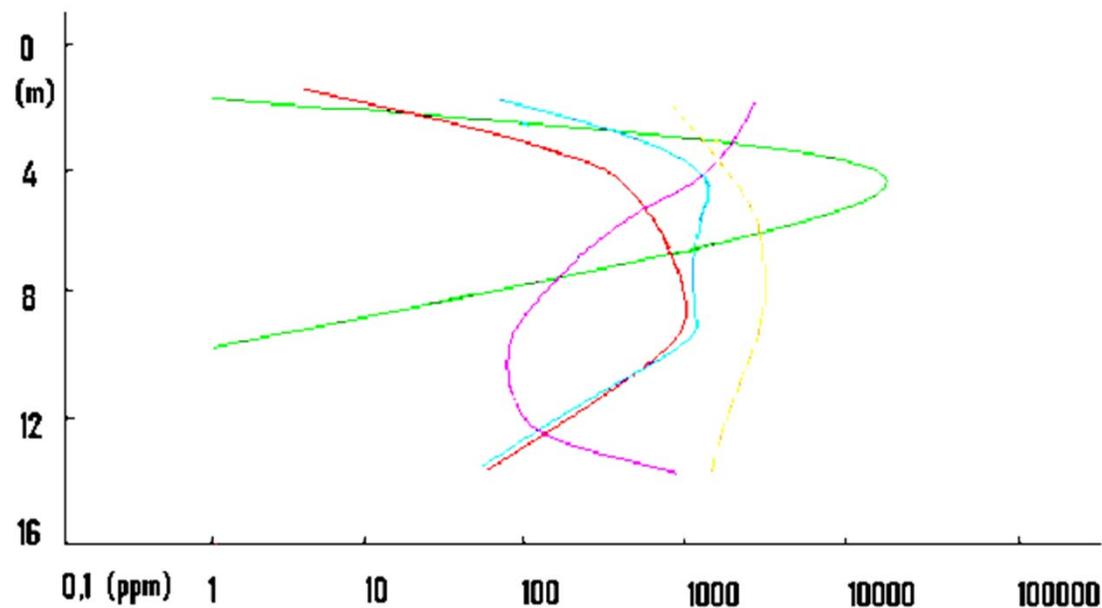
Diventa prevalente l'attività dei batteri metanigeni. Il percolato prodotto è detto stabilizzato, è caratterizzato da bassi valori di  $BOD_5$  e rapporti  $BOD_5/COD$  attorno a 0,1.

Il pH aumenta assumendo valori prossimi alla neutralità (compresi tra 6 e 8), azoto ammoniacale, cloruri, solfati sono comunque presenti, i metalli tendono a precipitare.

## FASE DI MATURAZIONE

Ormai la discarica contiene per lo più acidi umici e acidi fulvici difficilmente degradabili, per questo il rapporto  $BOD_5/COD$  è in genere compreso nell'intervallo 0,05-0,2. Il percolato continua a formarsi per effetto del flusso di acqua attraverso i rifiuti diventando però sempre meno carico di inquinanti.

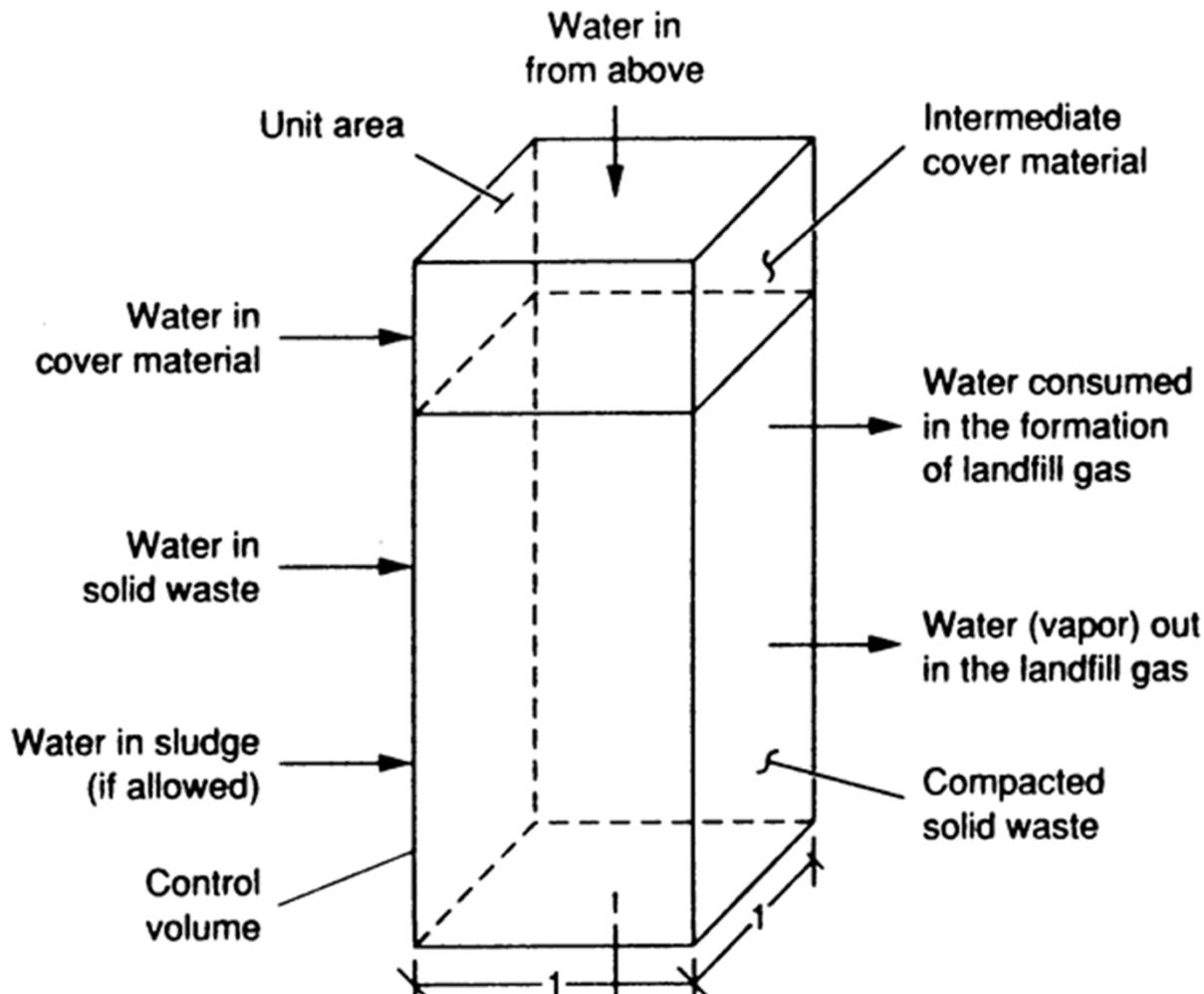
Caratterizzato da un movimento verticale discendente che tende ad estrarre sostanze facilmente solubili dagli strati superficiali e trasferirle verso le zone più profonde e biologicamente maggiormente attive, il carico inquinante del percolato aumenta quindi durante il passaggio negli strati in cui si stanno realizzando i processi della fase acida, mentre tende a ridursi nel transito attraverso la zona metanigena.



*Distribuzione con la profondità (m) di acidi organici tot azoto ammoniacale ione solfato ione cloruro ione potassio.*

# Bilancio dell'acqua nella generazione di percolato.

Elemento: cella



## Ingressi:

- acqua che entra dalla superficie
- umidità presente nei rifiuti
- umidità presente nel materiale di copertura.

## Perdite:

- acqua consumata nella formazione del biogas
- vapore acqueo
- percolato.

# Ingressi

## Acqua che entra dall'alto

Dallo strato superficiale → acqua piovana che percola attraverso il materiale di copertura.

Aspetto critico



quantificare la frazione delle precipitazioni che percola attraverso lo stato di copertura.

## Acqua che entra: i rifiuti

⇒ umidità inerente dei rifiuti

⇒ umidità assorbita dall'atmosfera o dalle precipitazioni.

È necessario condurre dei test durante i diversi periodi della stagione (secchi e umidi).

## Acqua che entra dal rivestimento finale

Dipende dal tipo di materiale utilizzato e dalla stagione dell'anno. Quantità massima di umidità contenuta è definita da FC del materiale utilizzato e quantità di liquido che rimane nello spazio dei pori soggetto alla spinta di gravità.

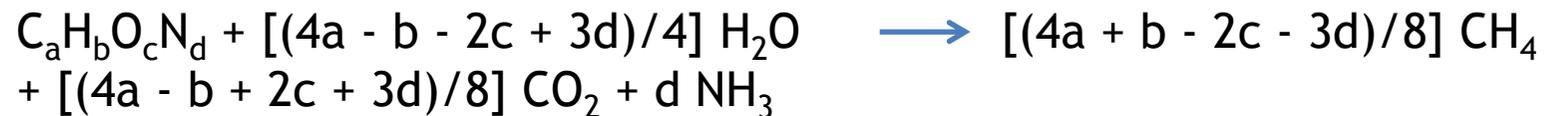
# Uscite

Acqua che esce dal basso

Percolato.

Acqua consumata durante la formazione del biogas

Stimata utilizzando



Acqua sotto forma di vapore acqueo

Il biogas è saturo di vapore acqueo. La quantità di acqua che evapora dalla discarica è determinata applicando la legge dei gas perfetti.

## Capacità di campo (FC) di una discarica

La quantità potenziale di percolato è la quantità di umidità all'interno della discarica in eccesso alla FC.

La FC viene stimata con:

$$FC = 0,6 - 0,55 \left( \frac{W}{10000+W} \right)$$

dove W è il carico del cumulo di rifiuti, per lo strato in questione.

Bilancio di massa dell'acqua

- + acqua che entra nella unità di area di un particolare strato della discarica durante t
- + contenuto di umidità di quello strato al termine di t
- massa di acqua persa nello strato durante t

---

Acqua disponibile nello strato considerato al tempo t.

Se  $FC <$  quantità di acqua presente, allora si formerà il percolato.

In generale, la quantità di percolato  $\div$  quantità di acqua che entra nella discarica.

## Stima della produzione del percolato

### Bilancio idrologico

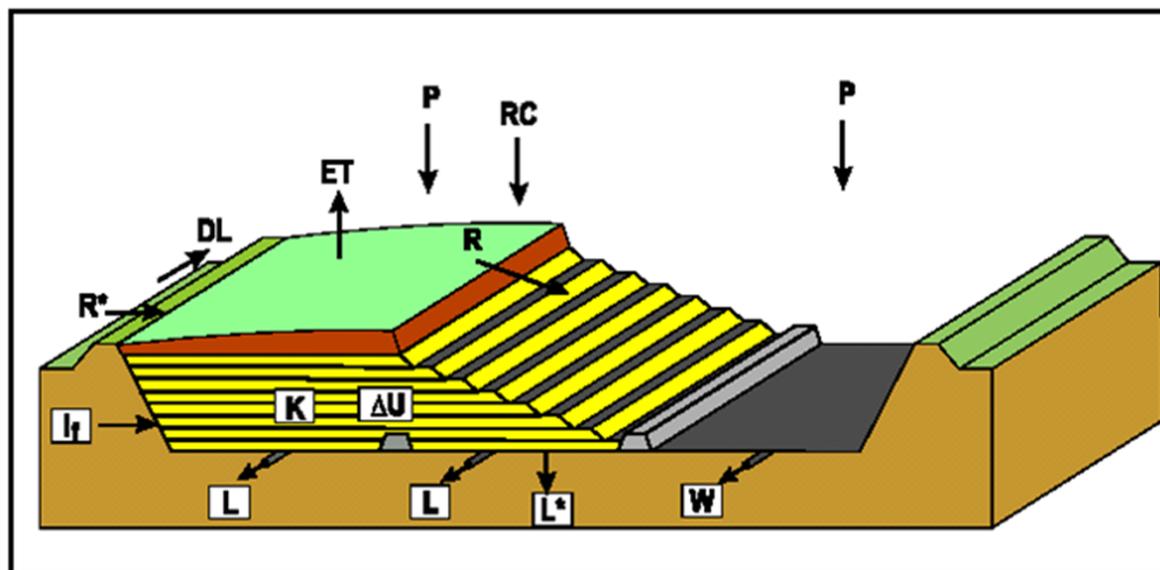
Le valutazioni quantitative basate sul bilancio idrologico cioè su un bilancio di materia applicato all'intero corpo della discarica, nel quale si uguaglia la velocità di accumulo dell'acqua presente nella massa di rifiuti, alla differenza tra le portate in ingresso e in uscita.

La velocità di accumulo dipende dalla differenza tra la capacità di campo del rifiuto e l'umidità iniziale, dove per capacità di campo si intende la quantità di acqua che viene immagazzinata dal rifiuto e non può essere eliminata per gravità.

La modellizzazione dei processi che portano alla produzione del percolato presenta però numerosi problemi di taratura e validazione.

I principali limiti sono legati all'impossibilità di valutare con precisione tutti i parametri che concorrono alla chiusura del bilancio a causa della loro variabilità temporale e spaziale oltre alla loro scarsa interdipendenza. Spesso quindi nella valutazione si ricorre a considerazioni di tipo statistico o teorico.

## Bilancio



dove:

$$P + RC + IR + R^* + If - L - R - ET - L^* \pm \Delta U = 0$$

P = afflussi meteorici;

RC = ricircolo percolato;

IR = irrigazione superficiale;

R\* = ruscellamento da aree esterne la discarica;

If = infiltrazione dalla falda idrica;

$\Delta U$  = variazioni del contenuto d'acqua dei rifiuti legato alla produzione o consumo idrico dovuto alle reazioni biochimiche di degradazione della sostanza organica;

L = percolato drenato dalla rete di collettamento;

R = ruscellamento dalla superficie della discarica;

ET = evapotraspirazione reale;

L\* = perdite di percolato dal fondo della discarica;

## RICIRCOLO DEL PERCOLATO

Il ricircolo del percolato all'interno della discarica viene operato per garantire un adeguato contenuto d'umidità dei rifiuti e così accelerare la velocità di degradazione.

### *Questa pratica è efficace?*

Un sicuro effetto benefico è legato all'aumento dell'umidità, in secondo luogo, ricircolando percolato proveniente dagli strati più profondi, in cui l'attività metanigena ha raggiunto un certo equilibrio, si favorisce l'inoculo di specie batteriche in settori più giovani.

Un altro vantaggio è dovuto alla riduzione del carico del percolato, esso infatti passando attraverso i rifiuti viene in parte degradato, d'estate poi a seguito dell'evaporazione si riducono le quantità da trattare.

Il ricircolo può essere un problema per discariche in cui non si siano smaltiti solo RSU, a seguito del dilavamento operato dal percolato, si può avere, infatti, mobilitazione di sostanze indesiderate oltre ad una possibile maggior produzione di acidi volatili.

## Movimento del percolato in una discarica non rivestita

Normalmente, il percolato si trova nel fondo della discarica. Il suo movimento è nella direzione verticale verso gli strati inferiori, sebbene possano avvenire movimenti laterali, dipende dalle caratteristiche del materiale circostante. La filtrazione verticale è importante per la contaminazione delle acque sotterranee.

La velocità di filtrazione verticale del percolato può essere stimata dalla legge di Darcy in questa forma:

$$Q = -KA \frac{dh}{dl}$$

Q = portata di percolato (L anno<sup>-1</sup>)

K = coefficiente di permeabilità (L m<sup>-2</sup> anno<sup>-1</sup>)

A = area attraverso la quale fluisce il percolato (m<sup>2</sup>)

dh/dl = gradiente idraulico (m/m)

h = carico idraulico (m)

l = lunghezza del cammino (m)

Valori tipici di permeabilità sono 400 m/anno per la sabbia, circa 100 la sabbia a granulometria costante, 0,1 il limo, 4 la sabbia fine uniforme, 10<sup>-4</sup> l'argilla e 10<sup>-6</sup> l'argilla colloidale.

# Tempo di breakthrough

Il tempo (anni) che impiega il percolato per passare attraverso un rivestimento di argilla di un dato spessore  $d$  può essere stimato utilizzando la seguente equazione:

$$t = \frac{d^2 \phi}{K(d+h)}$$

$t$  = tempo di breakthrough (anni)

$d$  = spessore del rivestimento (m)

$\phi$  = porosità effettiva

$K$  = coefficiente di permeabilità (m/anno)

$h$  = carico idraulico (m)

I valori di porosità effettiva per argille con valori di  $K$  compresi tra  $10^{-6}$  e  $10^{-8}$  cm/s variano tra 0,1 e 0,3.

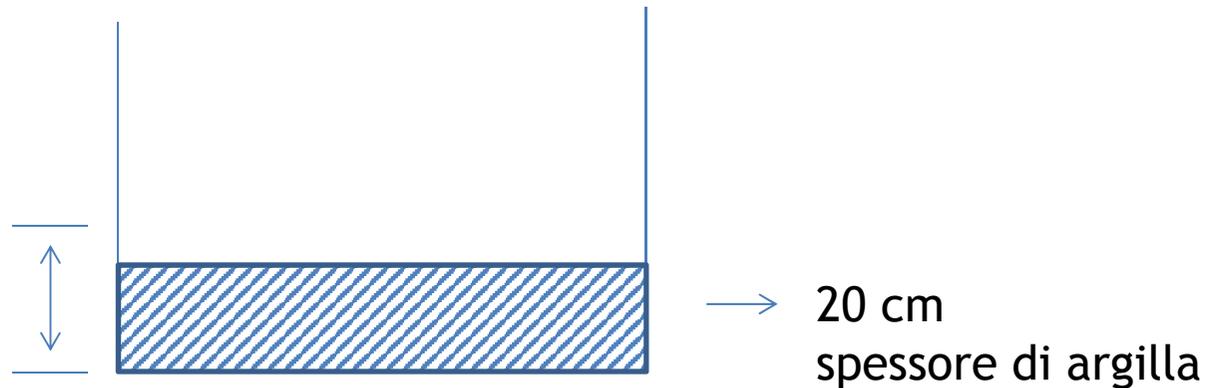
# Tempo di breakthrough

Il tempo (anni) che impiega il percolato per passare attraverso un rivestimento di argilla di un dato spessore  $d$  può essere stimato utilizzando la seguente equazione:

$$t = \frac{d^2 \phi}{K(d+h)} = 8000 \text{ anni}$$

$d = 0,20 \text{ m}$   
 $\phi = 0,1$   
 $K = 10^{-6}$   
 $h = 0,30 \text{ m}$

30 cm  
carico  
idraulico



# Migrazione superficiale e dei metalli pesanti presenti nel percolato

Attraverso reazioni di scambio ionico legato al fatto che il percolato viaggia attraverso il suolo.

La capacità del suolo di trattenere i metalli pesanti è funzione della capacità di scambio cationico, CSC, del suolo.

CSC = il numero di meq di cationi che 100 g di suolo sono in grado di assorbire.

La CSC del suolo dipende di materia colloidale minerale e organica presente nel suolo.

# Migrazione superficiale e dei composti organici in tracce presenti nel percolato

La via principale di rimozione delle sostanze organiche dal percolato avviene per adsorbimento nel suolo, nel suo passaggio attraverso i pori.

Se trascurare dispersione idrodinamica:

$$\frac{\partial S}{\partial t} \frac{\rho_b}{\phi} + \frac{\partial C}{\partial t} = -v_z \frac{\partial C}{\partial z}$$

$S$  = massa di soluto adsorbito per unità di massa (g/g)

$\rho_b$  = densità di bulk del suolo (g/m<sup>3</sup>)

$\phi$  = porosità

$C$  = concentrazione contaminante fase liquida (g/m<sup>3</sup>)

$v_z$  = velocità media del fluido nella direzione  $z$  (m/s)

$$S = K_{SD} \times C$$

$K_{SD}$  = coefficiente di distribuzione (m<sup>3</sup>/g).

Eventualmente relazioni non lineari

## GESTIONE

Captazione e smaltimento del percolato durante tutta la durata di conferimento rifiuti + n anni dopo la chiusura ( $n \geq 10$  anni)

# Trattamento del percolato

## Problematiche

- Elevate concentrazioni organici (biodegradabili e non) ed inorganici con portate contenute
- Fluttuazioni quantitative e qualitative nel tempo → età della discarica

## Alternative:

Conferimento ad impianti di scarichi civili

Pretrattamento in loco

Biologico anaerobico per BOD

Chimico-fisico per solidi sospesi e metalli

Trattamento completo

Vedi dopo

## Processi Biologici

### Treatment processes

Activated sludge

### Application

Removal of organics

### Comments

Defoaming additives may be necessary; separate clarifier needed

Sequencing batch reactors

Removal of organics

Similar to activated sludge, but no separate clarifier needed; only applicable to relatively low flow rates

Aerated stabilization basins

Removal of organics

Requires large land area.

Fixed film processes (trickling filters, rotating biological contactors)

Removal of organics

Commonly used on industrial effluents similar to leachates, but untested on actual landfill leachates

Anaerobic lagoons and contactors

Removal of organics

Lower power requirements and sludge production than aerobic systems; requires heating; greater potential for process instability; slower than aerobic systems

Nitrification/denitrification

Removal of nitrogen

Nitrification/denitrification can be accomplished simultaneously with the removal of organics

## Processi chimici

Treatment processes	Application	Comments
Neutralization	pH control	Of limited applicability to most leachates
Precipitation	Removal of metals and some anions	Produces a sludge, possibly requiring disposal as a hazardous waste
Oxidation	Removal of organics; detoxification of some inorganic species	Works best on dilute waste streams; use of chlorine can result in formation of chlorinated hydrocarbons
Wet air oxidation	Removal of organics	Costly; works well on refractory organics

## Processi fisici

Treatment processes	Application	Comments
Sedimentation/flotation	Removal of suspended matter	Of limited applicability alone; may be used in conjunction with other treatment processes
Filtration	Removal of suspended matter	Useful only as a polishing step
Air stripping	Removal of ammonia or volatile organics	May require air pollution control equipment
Steam stripping	Removal of volatile organics	High energy costs; condensate steam requires further treatment
Adsorption	Removal of organics	Proven technology; variable costs depending on leachate
Ion exchange	Removal of dissolved inorganics	Useful only as a polishing step
Ultrafiltration	Removal of bacteria and high molecular weight organics	Subject to fouling; of limited applicability to leachate
Reverse osmosis	Dilute solutions of inorganics	Costly; extensive pretreatment necessary
Evaporation	Where leachate discharge is not permissible	Resulting sludge may be hazardous; can be costly

Esempio

# Localizzazione

- La discarica di C.na Settuzzi si trova poco a NO dell'abitato di Mariano Comense
- L'area è prevalentemente collinare: le zone di fondovalle sono adibite ad uso agricolo mentre i versanti sono ricoperti da boschi
- Occupa un'area di circa 10 ha



# Storia

- Nasce negli anni '60 come scarico incontrollato
- Nel 1982 viene bonificata e trasformata in scarico controllato
- Nel 1986 iniziano i lavori per l'apertura di un secondo lotto
- Nel 1992 cessa l'attività di conferimento
- Nel 2002 iniziano interventi di rimodellamento



## Obiettivi dello studio

- Valutazione dei principali fattori di impatto sull'ambiente attraverso stime delle quantità attese di biogas e percolato
- Valutazione degli effetti di biogas e percolato intesi come fattori limitanti gli interventi di recupero

## STIMA DEL BIOGAS PRODOTTO - METODO INEMAR

È stata calcolata la quantità complessiva di carbonio, contenuto nei rifiuti, gassificato dall'inizio delle attività di smaltimento ad un generico anno.

Il dato di base necessario è la quantità di rifiuti smaltita per anno. La discarica di "C.na Settuzzi" è stata attiva dal 1983 al 1992, i quantitativi smaltiti per anno sono:

Anno	Quantità smaltite (ton)
1983	139802
1984	138347
1985	175709
1986	73590
1987	187514
1988	252350
1989	211468
1990	6432
1991	7615
1992	4222

Dalle informazioni a disposizione si è cercato di ricostruire la sequenza temporale dei conferimenti, nonostante negli anni siano stati smaltiti materiali di diversa natura, si può ipotizzare che le gran parte dei rifiuti smaltiti possa essere considerata come rifiuti urbani.

Per quanto riguarda la degradabilità è stata quindi considerata una sola tipologia di materiale. I parametri di definizione delle caratteristiche chimico-fisico richieste dal modello sono:

Densità (t/m <sup>3</sup> )	0,8
Residuo secco a 105 °C (%)	70
Residuo fisso a 550 °C (% SS)	40
Frazione biodegradabile (% fisso)	60
Frazione gassificabile (% biodegr)	97,5

Il valore del carbonio gassificabile per unità di massa di rifiuto, necessario per la risoluzione del modello è dato da:

$$C_{o-x} = (SOST_{org-secca}/100) \cdot (CO_{secco}/ SOST_{org-secca}) \cdot ((100-U)/100) \cdot (f_b/100) \cdot (DOC_f/100)$$

dove:

U = umidità (%);

f<sub>b</sub> = frazione biodegradabile (% fisso);

DOC<sub>f</sub> = frazione gassificabile (% biodegradabile);

Considerando che, l'umidità è calcolata dal complementare a cento del residuo secco, il contenuto di sostanza organica dal complementare a cento del residuo fisso e che il CO rappresenta circa il 50% della sostanza organica, si ottengono per i rifiuti urbani la seguenti caratteristiche.

Umidità	30
SOST <sub>org-secca</sub> (%SS)	60
f <sub>b</sub> (% fisso)	60
DOC <sub>f</sub> (% biodegr)	97,5
CO <sub>secco</sub> / SOST <sub>org-secca</sub>	0,5

Il valore del carbonio organico gassificabile è quindi pari a 123 kgC/ t<sub>RSU</sub>.

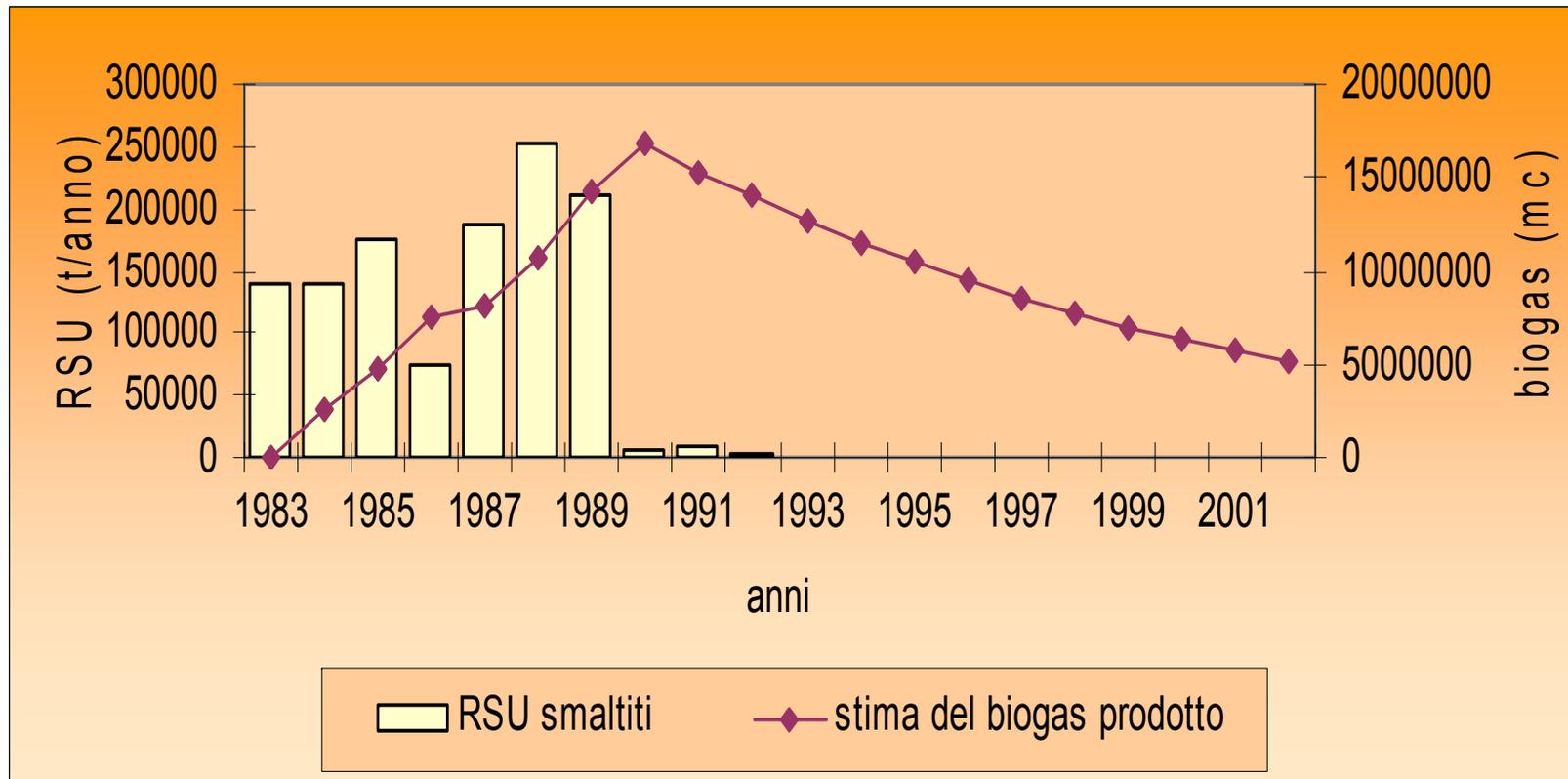
Per stimare la quantità di biogas che può essere prodotta si utilizza un coefficiente che definisce la produzione specifica di biogas per unità di CO biogassificabile = 1,868 m<sup>3</sup> biogas/kgCO biogassificabile.

Si ottiene quindi che da 1 ton di RSU è possibile ricavare circa 200 m<sup>3</sup> di biogas.

Il valore della costante cinetica di degradazione k è derivato da studi riportati in letteratura che associano ai rifiuti urbani un valore di k = 0,1 (anni<sup>-1</sup>).

## RISULTATI

Stimare delle quantità complessive prodotte per anno, dal 1983 al 2002. La massima produzione (16.762.329 m<sup>3</sup>) è stata raggiunta nel 1990. Il sistema di captazione è stato attivato solo a partire dal 1990.



Considerando le quantità di biogas captate dal 1990 al 2000, è possibile valutare l'efficienza del sistema di captazione.

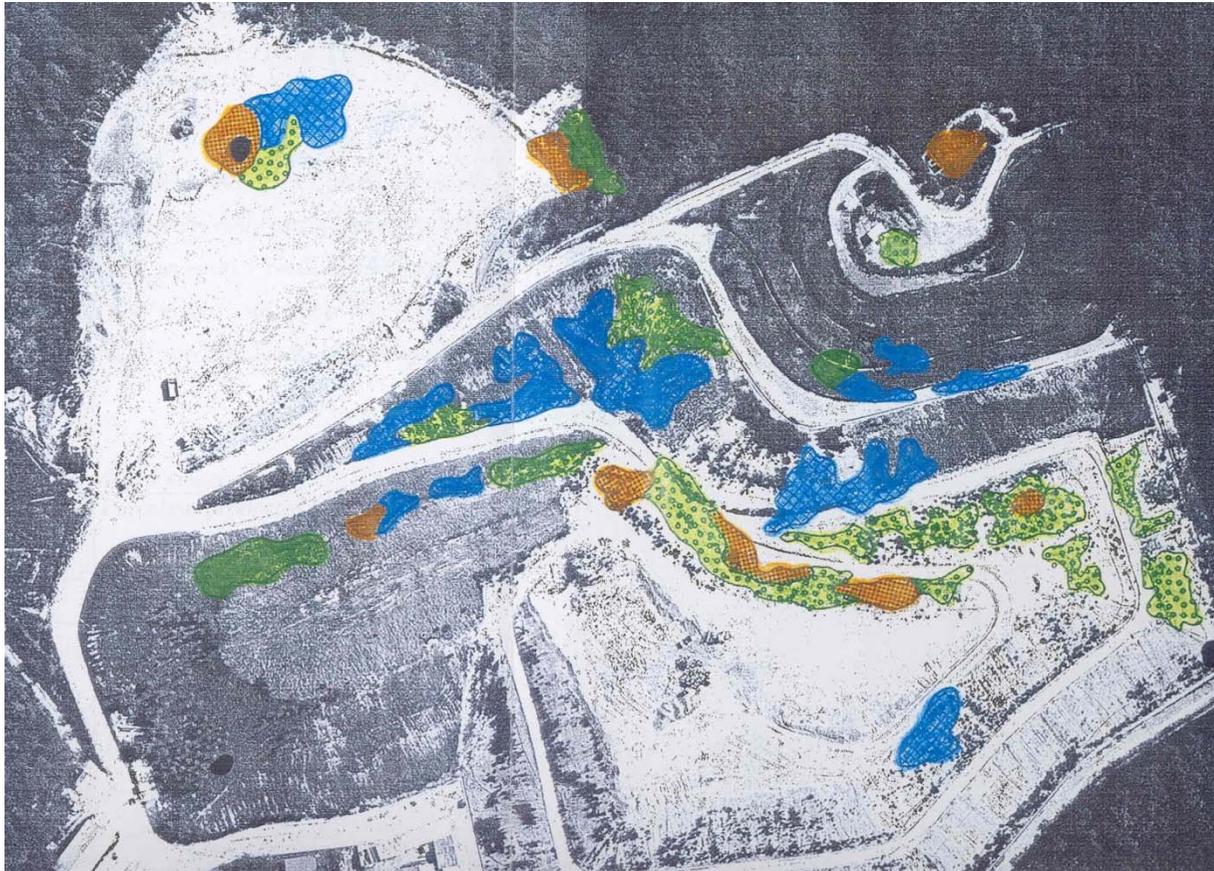
L'efficienza di captazione media è piuttosto modesta (36,6%), ma è in linea con il valore dell'efficienza media di captazione calcolato per tutte le discariche della Regione Lombardia, che è pari al 35% (Cernuschi et al, 2002).

Molti componenti del biogas risultano tossici per la vegetazione. Per molti anni, anche dopo l'attivazione del sistema di captazione, la copertura arborea ha stentato ad attecchire a causa della presenza di estese zone di fuoriuscita di biogas.

Anno	Biogas prodotto (m <sup>3</sup> /anno)	Biogas captato (m <sup>3</sup> /anno)	Efficienza di captazione %
1990	16.762.329	6.000.000	35,8
1991	15.283.581	5.500.000	36,0
1992	13.966.963	5.000.000	35,8
1993	12.714.235	4.500.000	35,4
1994	11.504.316	4.000.000	34,8
1995	10.409.535	4.000.000	38,4
1996	9.418.937	3.500.000	37,2
1997	8.522.607	3.000.000	35,2
1998	7.711.573	3.000.000	38,9
1999	6.977.720	2.500.000	35,8
2000	6.313.702	2.500.000	39,6

Durante l'ascensione il biogas trascina con sé parte del calore prodotto dalle reazioni di decomposizione e prima di liberarsi in atmosfera lascia sui cunicoli di fuga il segno di un'anomalia termica. Tramite rilievi per mezzo di termografi è possibile identificare i punti di emersione e stimare le quantità di biogas fuoriuscito.

Termografia della discarica nel 1990.



Idea della distribuzione e dell'estensione delle aree di fuoriuscita all'epoca delle prime piantumazioni. Per cercare di tamponare il problema sono stati inseriti nel suolo, in prossimità delle radici, dei tubi di circa 10 cm di diametro. Questo semplice accorgimento ha consentito al biogas di trovare una via di fuga alternativa, evitando il suo accumulo nel suolo e facilitando l'attecchimento della vegetazione.

## STIMA DEL PERCOLATO PRODOTTO

La stima del percolato prodotto è basata sul bilancio idrologico definito precedentemente. Per la discarica di C.na Settuzzi, l'equazione può essere semplificata nella forma:

$$P + RC + IR + R^* + I_f - L - R - ET - L^* \pm \Delta U = 0$$



$$P + IR - R - L - ET \pm \Delta U = 0$$

si ricorda che:

P = afflussi meteorici;

IR = irrigazione superficiale;

R = ruscellamento;

L = percolato drenato dalla rete di collettamento;

ET = evapotraspirazione reale;

$\Delta U$  = variazioni del contenuto d'acqua dei rifiuti legato alla produzione o consumo idrico dovuto alle reazioni biochimiche di degradazione della sostanza organica;

Perché possiamo usare una forma semplificata?

RC

Nonostante fosse previsto nei Progetti esecutivi dei due lotti, il ricircolo del percolato è stato effettuato solo nei primi anni di conduzione della discarica poiché ha creato dei problemi di stabilità dell'ammasso di rifiuti. La quantità riciclate possono pertanto essere trascurate.

I<sub>F</sub>

Nello “Studio di impatto ambientale” commissionato alla società Sisco è stato condotta una valutazione sulla vulnerabilità della falda. Tale studio ha escluso la possibilità di contaminazione da parte della discarica sia per la notevole profondità della falda, sia per la presenza di una barriera naturale impermeabile. Da queste considerazioni deriva che si possano considerare nulli gli apporti dovuti alle infiltrazioni dalle acque sotterranee.

R\*

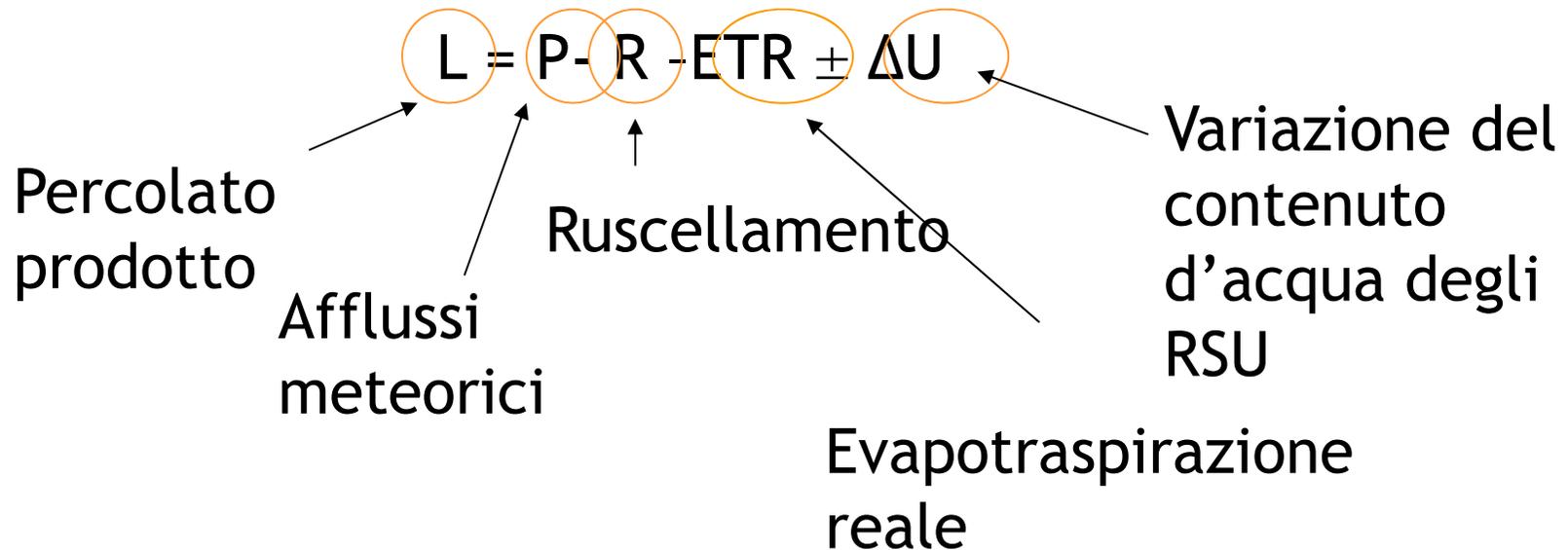
La particolare morfologia della discarica, è una collinetta sopraelevata rispetto alle zone circostanti, consente di eliminare anche gli apporti dovuti al ruscellamento da aree esterne.

L\*

Nella fase di realizzazione il fondo della discarica è stato impermeabilizzato con uno strato di argilla su cui è stato steso un telo ad alta densità (HDPE), per la raccolta del percolato è stato realizzato un sistema drenante. Queste opere dovrebbero garantire una perfetta tenuta del fondo della discarica e così impedire eventuali perdite di percolato.

# Percolato

- Bilancio idrologico applicato all'intero corpo della discarica:



Quindi

$$L = P + IR - R - ET \pm \Delta U$$

### P: afflussi meteorici

Per l'analisi dell'andamento delle precipitazioni si fa riferimento ai dati forniti dalle stazioni di Malpensa, Minoprio-Ersal, M. Olimopino e Monza.

### IR: irrigazione superficiale

L'acqua del pozzo di monitoraggio numero 4 è stata utilizzata dal 1994 al 1998 per l'irrigazione della discarica per evitare che la copertura erbacea e arbustiva nei mesi estivi soffrissero di carenza idrica. Il pozzo è stato utilizzato per emungere circa 2 m<sup>3</sup>/h considerando una durata di funzionamento giornaliero di 6/7 ore e un periodo di utilizzazione da metà giugno a fine agosto. È possibile affermare che gli apporti dovuti all'irrigazione superficiale sono stati molto ridotti e quindi risultano trascurabili.

### R: ruscellamento

Quando piove non tutta l'acqua che arriva al suolo si infiltra nel terreno, la pioggia netta cioè l'acqua che effettivamente si infiltra è uguale alle precipitazioni effettive meno il ruscellamento superficiale. La capacità di infiltrazione, che è quindi complementare al ruscellamento, dipende da diversi fattori come la tessitura, la granulometria, l'umidità, la pendenza, la copertura e l'uso del suolo. La stima del ruscellamento è stata condotta con il metodo del Curve Number messo a punto dal Soil Conservation Service.

## ET: evapotraspirazione reale

Secondo Thornthwaite (1931) è definita come la quantità d'acqua effettivamente evaporata dal suolo e traspirata attraverso le piante in un determinato luogo. Applicando il metodo di Turc (1954) è possibile ottenere direttamente l'ET media annua in mm:

$$ET = P / (0,9 + (P/L)^2)^{1/2}$$

dove:

P = altezza di precipitazioni media annua (mm);

Sulla base di un'analisi di 192 bacini in Sicilia, Santoro (1970) ha proposto la seguente formula per calcolare il valore di L (è valida quando  $10^{\circ}\text{C} < T_a < 18^{\circ}\text{C}$ ):

$$L = 586 - 10T_a + 0,05T$$

dove:

T<sub>a</sub> = temperatura media annua (°C)

Definiti tre valori di ETR (EvapoTraspirazione Reale) per considerare le diverse coperture della discarica (suolo nudo, copertura erbacea, copertura arborea).

## $\Delta U$ : variazioni del contenuto d'acqua dei rifiuti

Questo parametro viene stimato considerando i consumi e/o le perdite d'acqua per le reazioni di degradazione della materia organica contenuta nei rifiuti. I processi di degradazione anaerobica ed aerobica sono molto complessi e variabili nel tempo, possono, perciò, essere descritti a livello sia qualitativo che quantitativo, solo con delle approssimazioni.

Il parametro  $\Delta U$  è stato così calcolato a partire dal volume di metano potenzialmente generabile per anno stimato con il modello Inemar.

Dal volume si sono calcolate le tonnellate di biogas prodotte, moltiplicando per la densità.

La densità del biogas (Gandolla, 1992) è ricavabile dalla formula:

$$\text{densità} = \sum_i (\% \text{ vol composto}_i) \cdot (\text{densità composto}_i)$$

Per considerare la variazione nel tempo della composizione del biogas, sono state considerate due diverse situazioni.

Δ COMPOSIZIONE DEL BIOGAS PER L'ANNO DI RIFERIMENTO (DAL 1993  
CESSATI COMPLETAMENTE I CONFERIMENTI)

Componente	Densità mg/l	% vol fino al 1993	% vol dal 1993
CH <sub>4</sub>	0,7167	55	45
CO <sub>2</sub>	1,9768	42	53
N <sub>2</sub>	1,2507	2	0
Vapor d'acqua	0,03	1	1
Altri gas		1	1

Valori percentuali di composizione del biogas → quantitativi di metano prodotti per anno → dividendo per il suo peso molecolare (16,05 g/mol) → kmoli di metano prodotte per anno.

Nell'ipotesi che la materia organica sia completamente degradabile, l'equazione generale che descrive il processo degradativo ha la forma:



La composizione del rifiuto, e quindi il tipo di substrato, è un fattore determinante nei processi di degradazione, nel modello si sono distinte componenti rapidamente degradabili (84% della massa complessiva dei rifiuti) e componenti difficilmente degradabili (14% della massa complessiva). Da una composizione media di riferimento per 100 kg di rifiuto si è quindi risaliti alla formula chimica minima per ciascuna delle due componenti.

L'equazione generale può ora essere riscritta:

*Rifiuti rapidamente degradabili:*



*Rifiuti lentamente degradabili:*



## Hp:

la degradazione di questi rifiuti iniziata dopo circa cinque anni dal momento del loro smaltimento.

Le kmoli di acqua consumate nei processi sono state determinate a partire dalle kmoli di metano prodotte e sulla base del bilancio stechiometrico delle equazioni 5 e 6.

Si è così potuto calcolare la quantità di acqua consumata complessivamente nei diversi anni.

Altri due parametri che influiscono sul contenuto d'umidità sono:

1. contenuto iniziale d'acqua dei rifiuti al momento del deposito → supposto pari al 25% in massa;
2. concentrazione di vapor acqueo nel biogas → pari all' 1% in volume.

Il bilancio di massa dell'acqua nell'anno  $t$  in un determinato strato di rifiuti smaltiti l'anno  $x$ , si ottiene quindi sommando al contributo di **acqua che entra** (come percolato prodotto dagli strati sovrastanti o precipitazioni), il **contenuto di umidità** dei rifiuti alla fine dell'anno  $t$  e sottraendo la massa d'**acqua persa** nell'anno  $t$  a seguito delle **reazioni** di degradazione.

La quantità di percolato che effettivamente si può formare dipende anche dalla capacità di campo dei rifiuti cioè dalla quantità di acqua che riescono ad inglobare. La quantità potenziale di percolato è la quantità di umidità all'interno della discarica in eccesso alla capacità di campo della discarica stessa. La capacità di campo viene calcolata per ogni strato di rifiuti smaltiti l'anno x, dall'equazione:

carico del cumulo di rifiuti

$$FC = 0,6 - 0,55(W / (10000 + W))$$

$$W = W_{RSU,x} + W_{RSU,x+n} + W_{acqua} + W_{cop}$$

$W_{RSU,x}$  = peso dei rifiuti smaltiti l'anno x (t);

$W_{RSU,x+n}$  = peso dei rifiuti sovrastanti smaltiti negli anni successivi all'anno x (t);

$W_{acqua}$  = peso del contenuto d'umidità dei rifiuti smaltiti l'anno x (t);

$W_{cop}$  = peso del materiale di copertura (t)

**Peso del materiale di copertura** → se si considera una densità media del materiale pari a 0,82 g/cm<sup>3</sup>, uno spessore complessivo annuale pari a 50 cm durante gli anni di attività della discarica e uno spessore finale medio di 180 cm dopo la chiusura.

→ FC x peso dei rifiuti = quantità d'acqua che potenzialmente essi possono trattenere.

Confrontando questo valore con la quantità d'acqua contenuta effettivamente dai rifiuti si valuta se viene prodotto percolato.

## Risultati

Le quantità di percolato prodotte sono note: sono infatti disponibili i dati del Consorzio Valsorda e Bevere che dal 1994 ha trattato e smaltito il percolato prodotto dalla discarica. Si conoscono, oltre alle quantità smaltite, i valori di COD misurati settimanalmente.

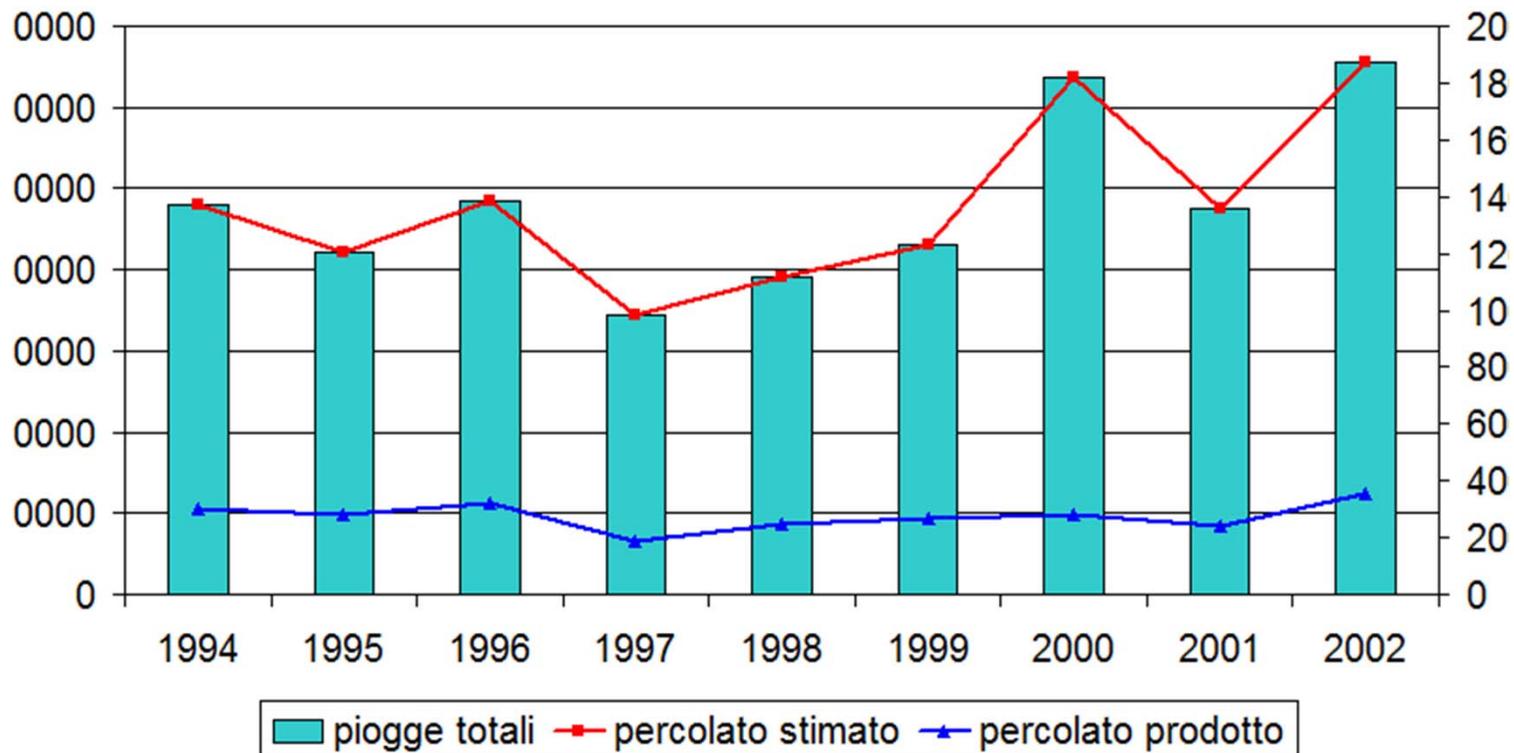
In letteratura è riportato che la quantità di percolato prodotta da discariche di RSU, con caratteristiche simili a quelle della discarica oggetto di studio, è circa il 20% delle precipitazioni totali. Per la discarica di C.na Settuzzi si sono ottenuti i risultati riportati in tabella.

Anno	Percolato prodotto (m <sup>3</sup> )	Piogge totali (mm)	%
1994	21240	1371	22,1
1995	19721	1206	23,4
1996	22348	1384	23,1
1997	13171	985	19,1
1998	17093	1120	21,8
1999	18574	1234	21,5
2000	19597	1821	15,4
2001	17079	1358	18
2002	24710	1872	18,9

Una prima valutazione è stata ottenuta utilizzando le precipitazioni totali.

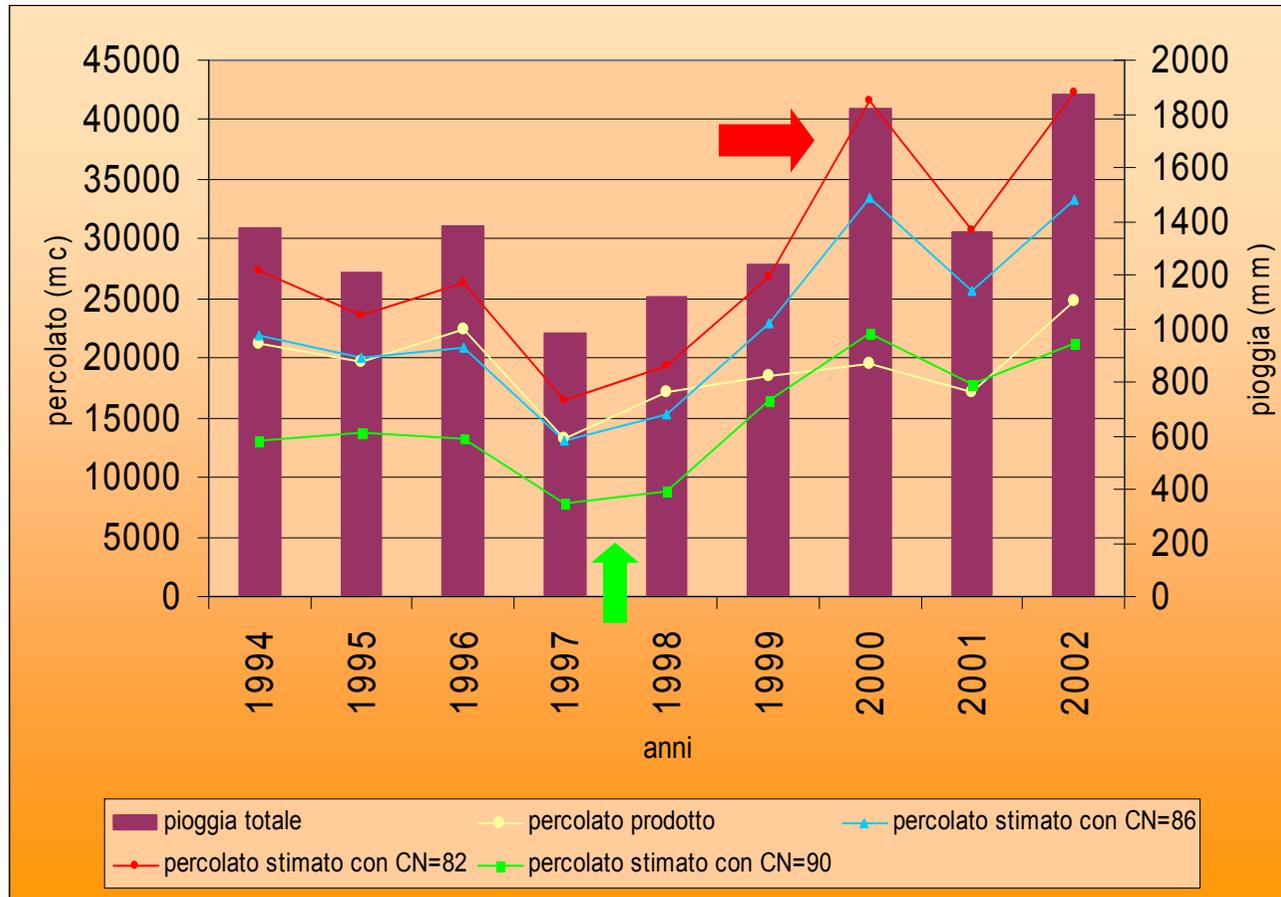
L'analisi della figura consente alcune considerazioni:

- le quantità previste sono molto maggiori delle reali, nel 2000 sono addirittura sette volte maggiori;
- le variazioni delle quantità stimate seguono l'andamento delle precipitazioni ;
- le quantità realmente prodotte sono meno sensibili alle variazioni di precipitazione.

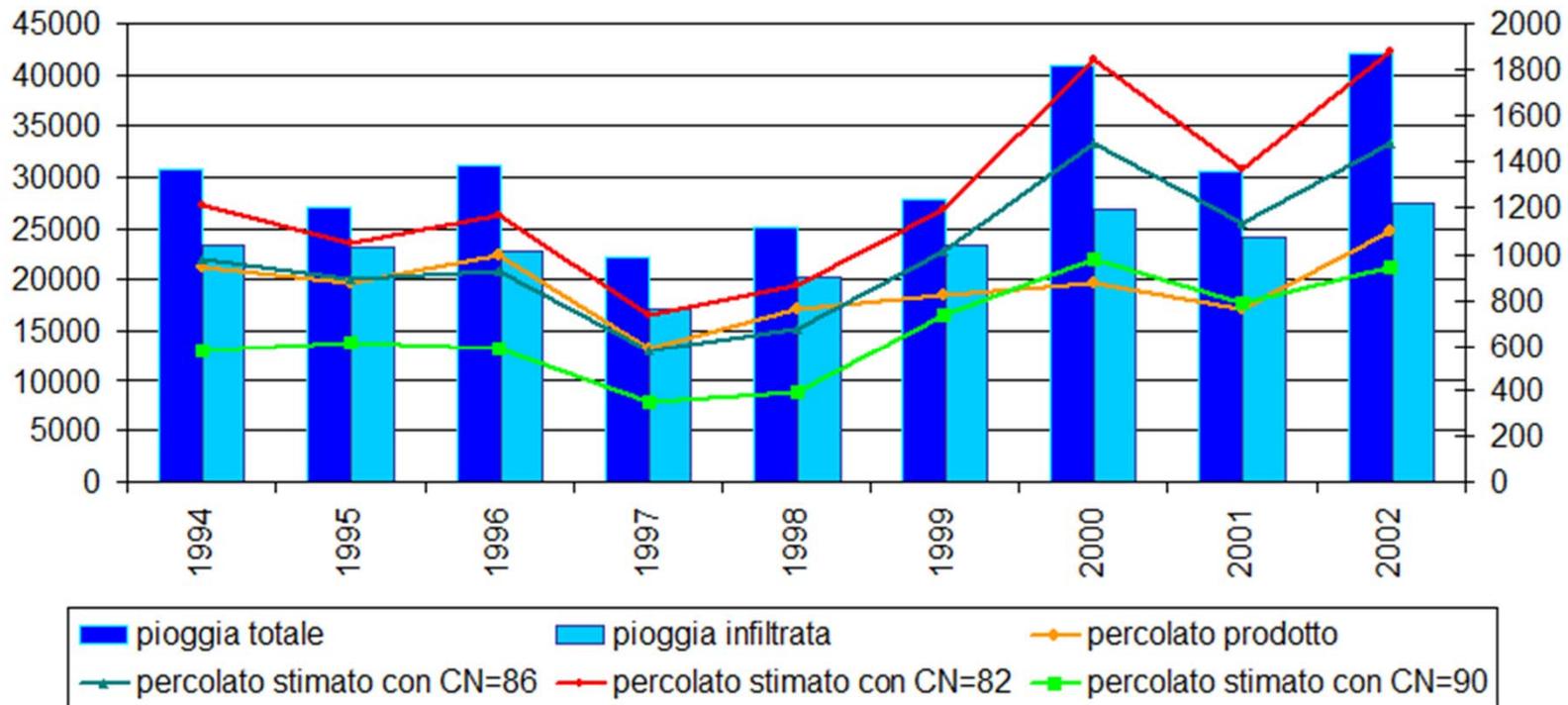


*Confronto tra percolato stimato (m³) e percolato prodotto (m³).*

# R: Ruscellamento



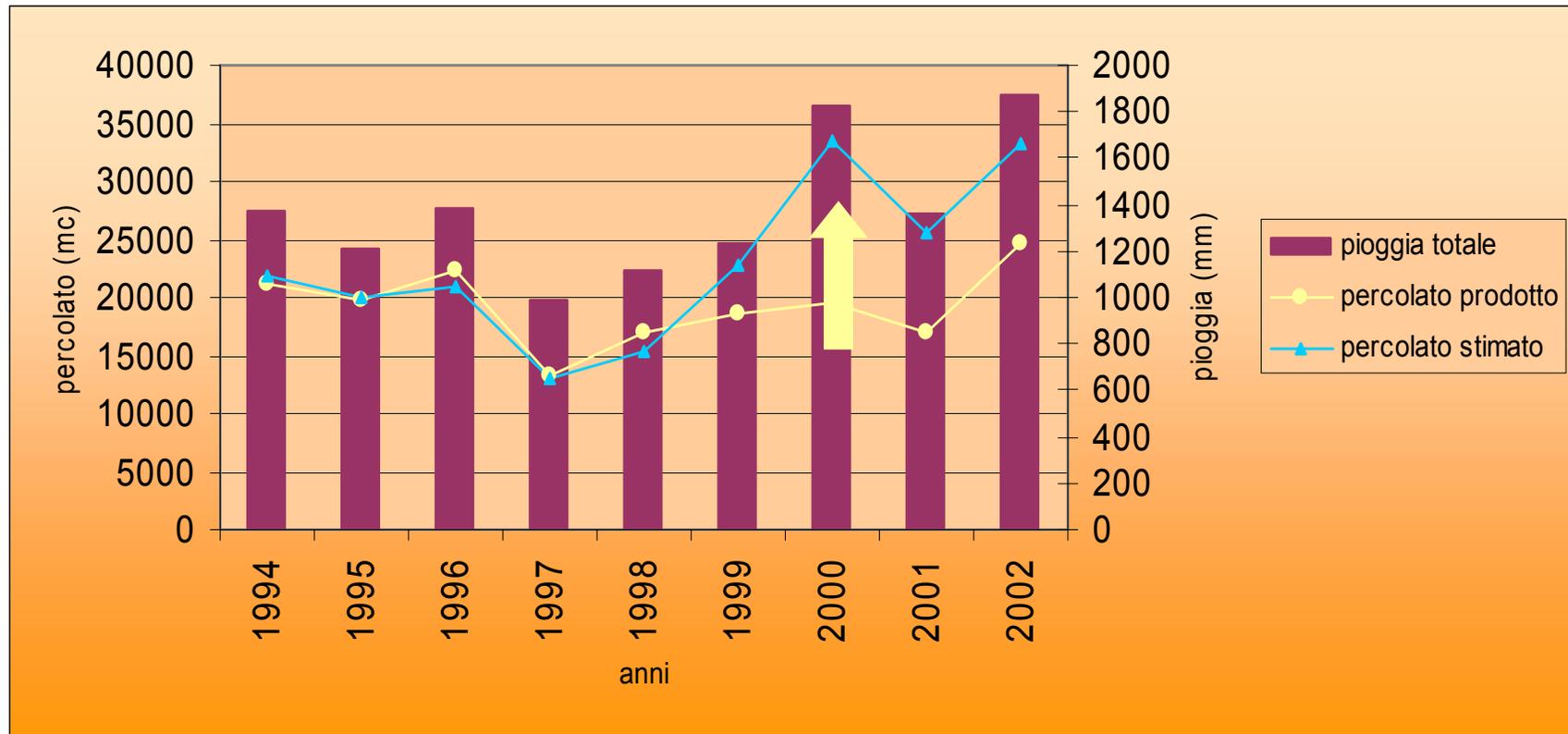
Considerando gli effetti del ruscellamento, dell'ET e delle variazioni d'umidità degli RSU.....



L'andamento delle quantità stimate è molto simile a quello delle quantità prodotte, negli anni compresi tra il 1994 e il 1999 c'è una buona previsione anche dal punto di vista quantitativo. Dal 2000 le quantità previste sono invece molto superiori a quelle reali.

Le quantità prodotte sono sensibili alle variazioni di precipitazioni.

# Percolato



## Causa:

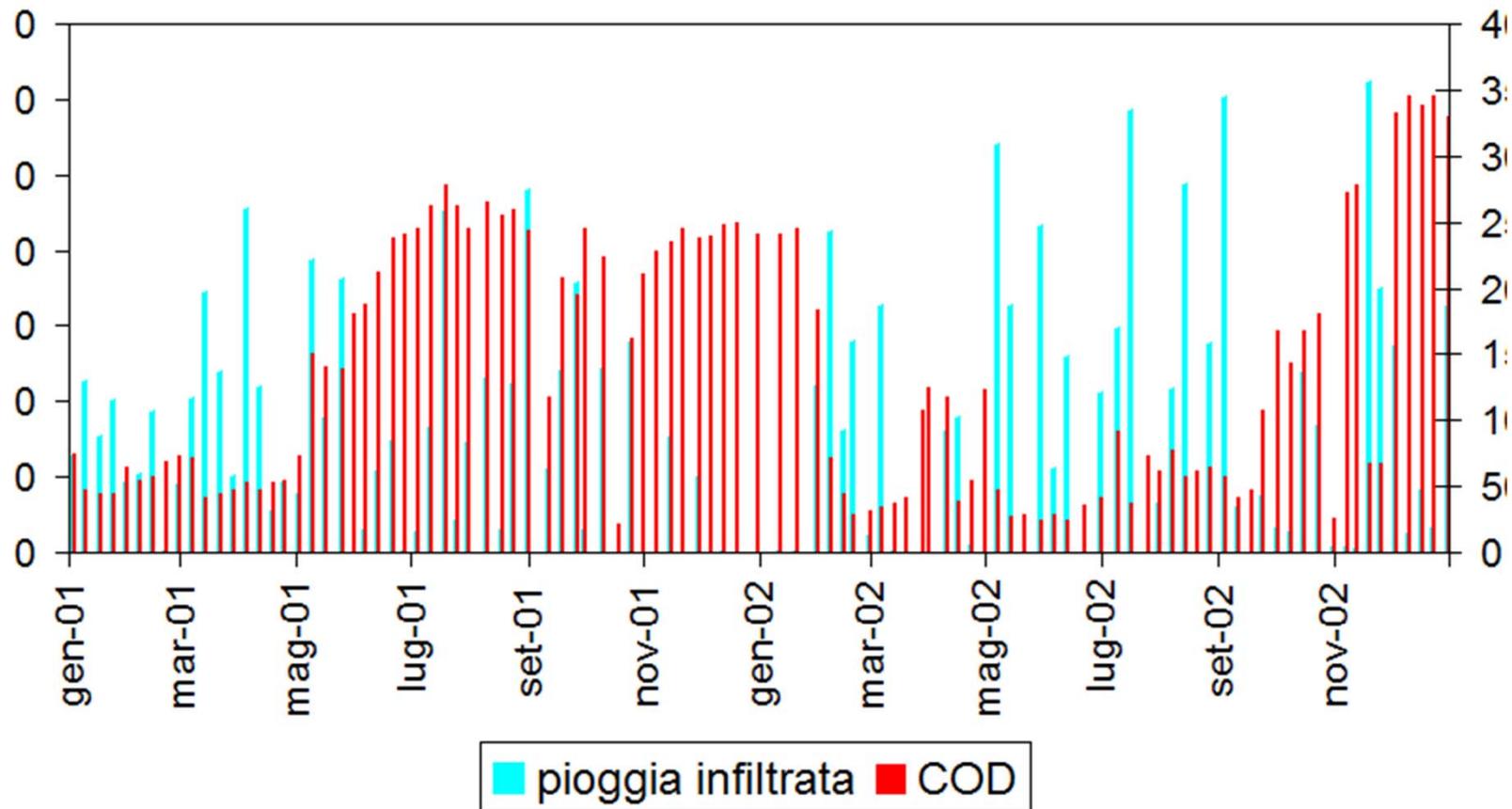
Non corretta valutazione del bilancio idrologico per mancanza di dati e informazioni.

Le quantità stimate sono molto più sensibili alle variazioni di precipitazioni. Due possono essere le cause dei risultati ottenuti.

- ❑ Se si assume che la principale variabile da cui dipende la produzione di percolato è rappresentata dagli apporti idrici, allora è lecito supporre che quanto più piove, tanto più percolato viene stimato. Le differenze quantitative degli ultimi tre anni devono essere quindi causate da una sovrastima del bilancio idrologico della discarica. Non è stato possibile quantificare il fenomeno del ruscellamento quando le precipitazioni sono molto abbondanti.
  
- ❑ La seconda possibile causa della sovrastima ottenuta è la mancanza di dati e informazioni che consentano una buona descrizione dei processi interni al cumulo di RSU. Questi processi possono essere previsti solo con una buona conoscenza dei meccanismi degradativi coinvolti e delle caratteristiche dei rifiuti. Il modello è stato basato su una serie di approssimazioni per quanto riguarda le reazioni di degradazione e su una composizione merceologica media dei rifiuti che potrebbe non descrivere le reali caratteristiche del materiale smaltito.

## *Variazioni qualitative del percolato*

I dati relativi al COD sono disponibili a partire dal giugno del 1994.



Relazione tra pioggia infiltrata e COD

Il cumulo dei rifiuti ha una ridotta capacità di drenaggio: l'acqua che filtra forma immediatamente percolato.

