

La discarica come bioreattore

l'umidificazione dei rifiuti
mediante l'immissione di
percolato



Dott. Geol. Gian Luigi Soldi

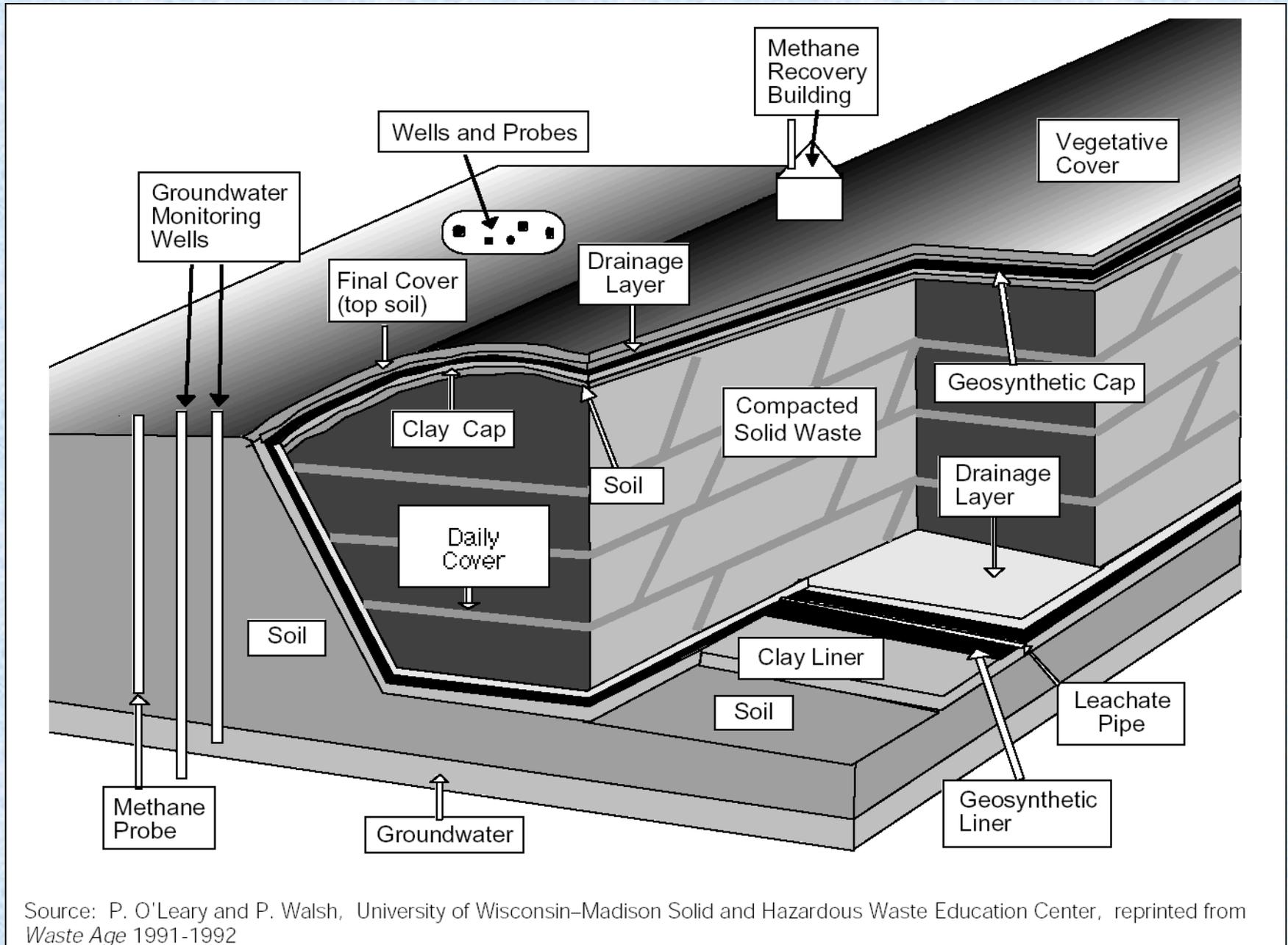
Area Sviluppo Sostenibile e Pianificazione Ambientale

Ufficio Discariche e Bonifiche

soldi@provincia.torino.it



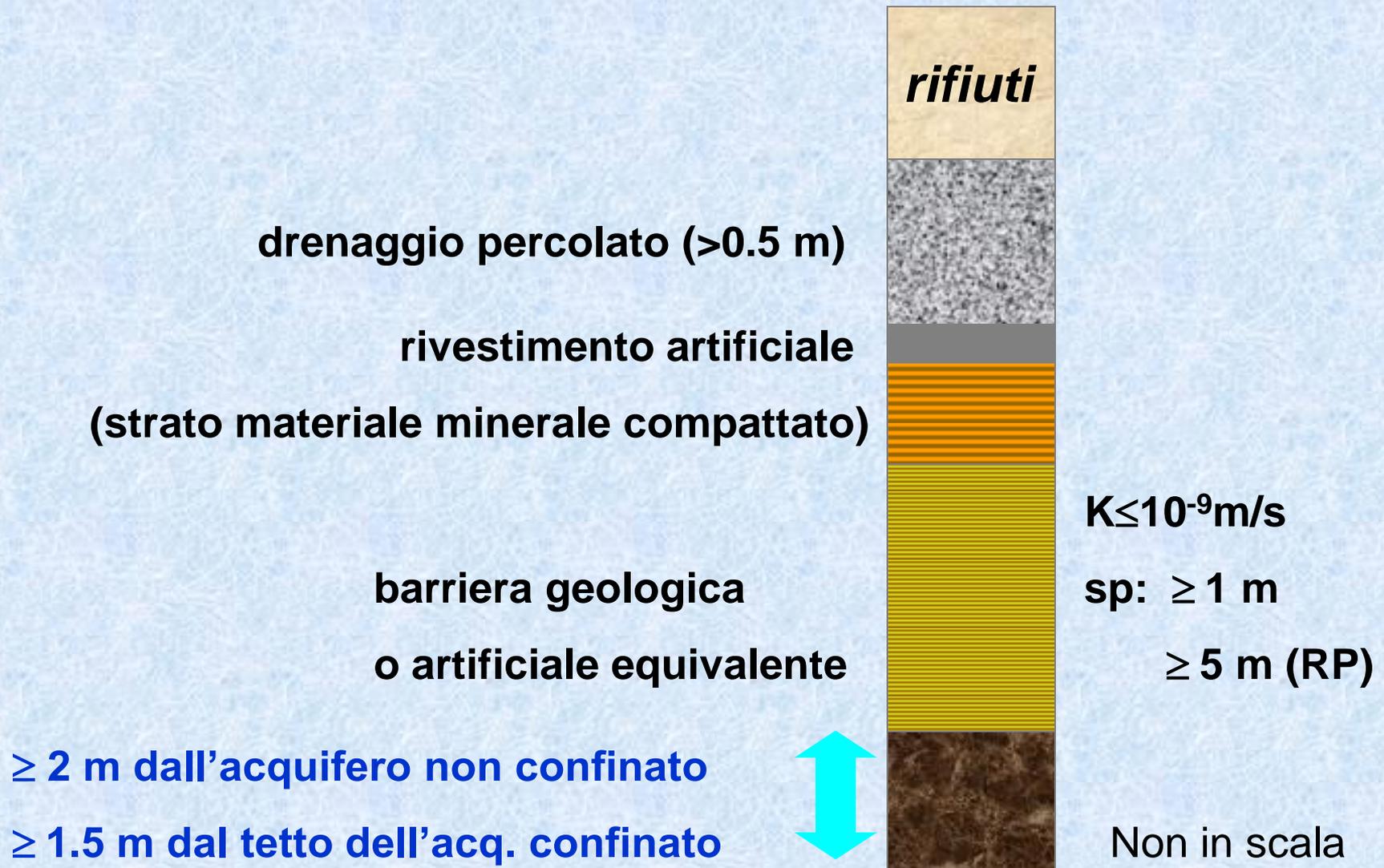
La discarica controllata



Source: P. O'Leary and P. Walsh, University of Wisconsin-Madison Solid and Hazardous Waste Education Center, reprinted from *Waste Age* 1991-1992

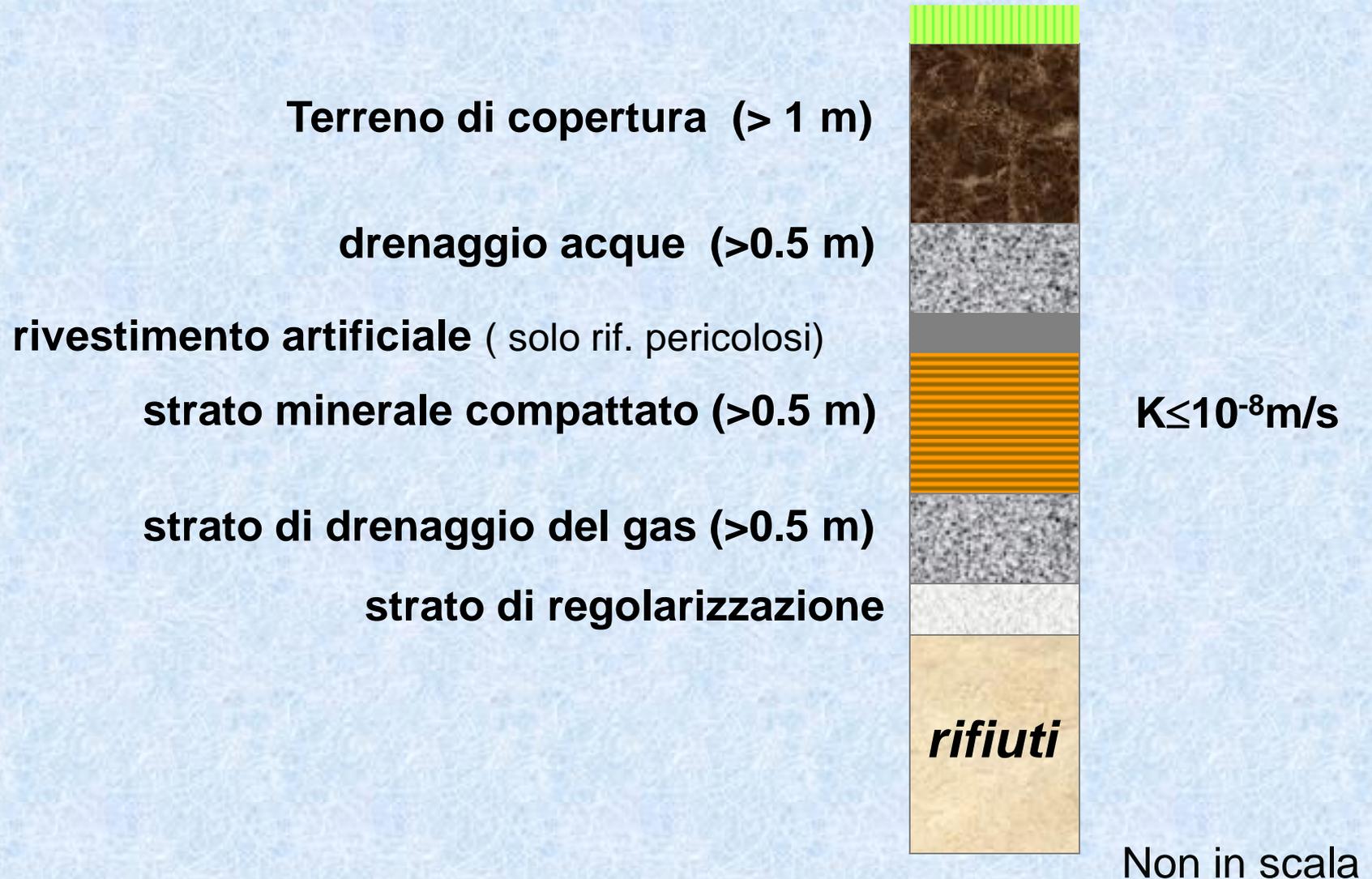
D.lgs 13 gennaio 2003, n. 36 sulle Discariche di Rifiuti

PROTEZIONE DEL TERRENO E DELLE ACQUE **(rifiuti non pericolosi e rifiuti pericolosi)**

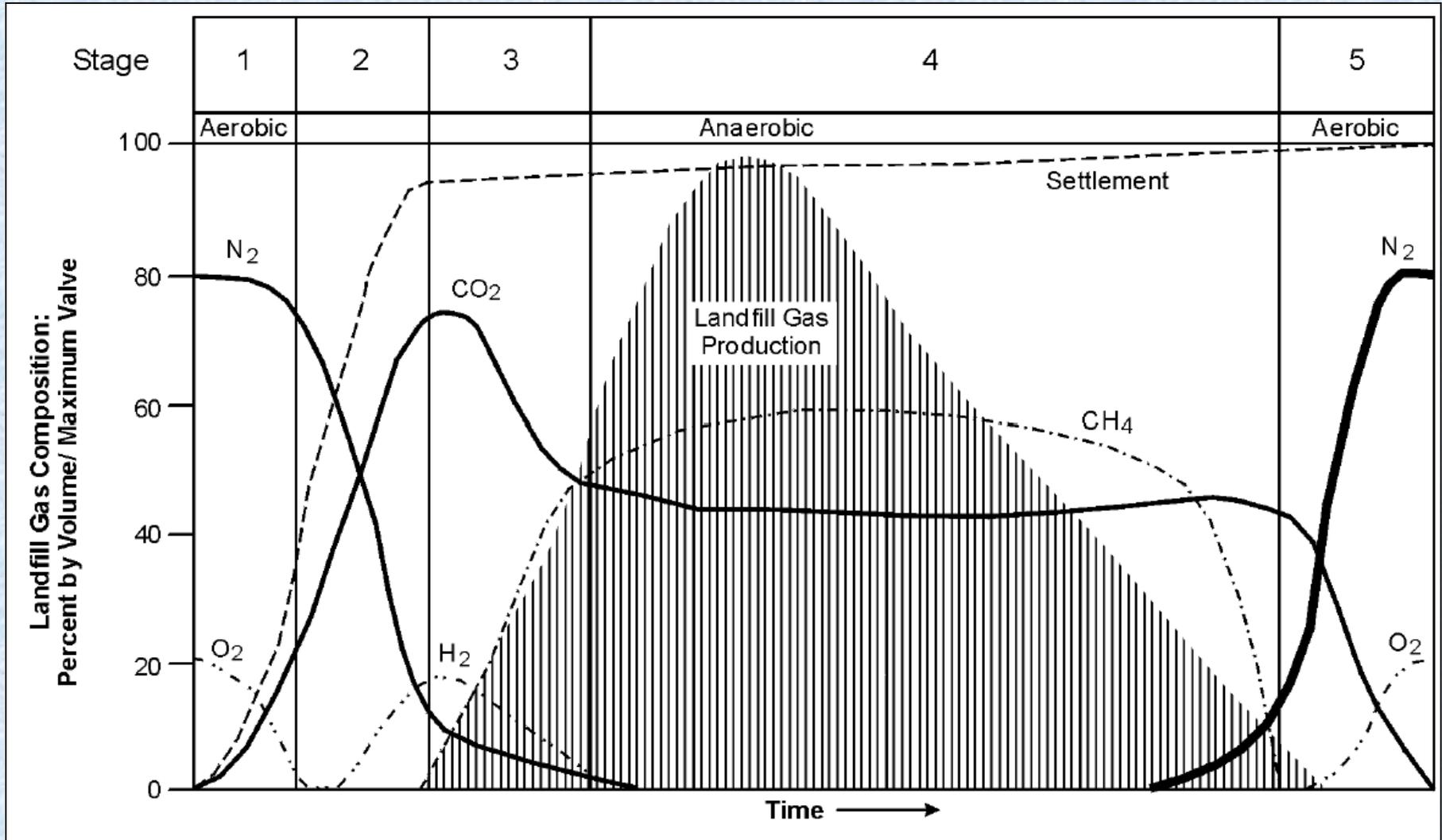


COPERTURA SUPERFICIALE FINALE

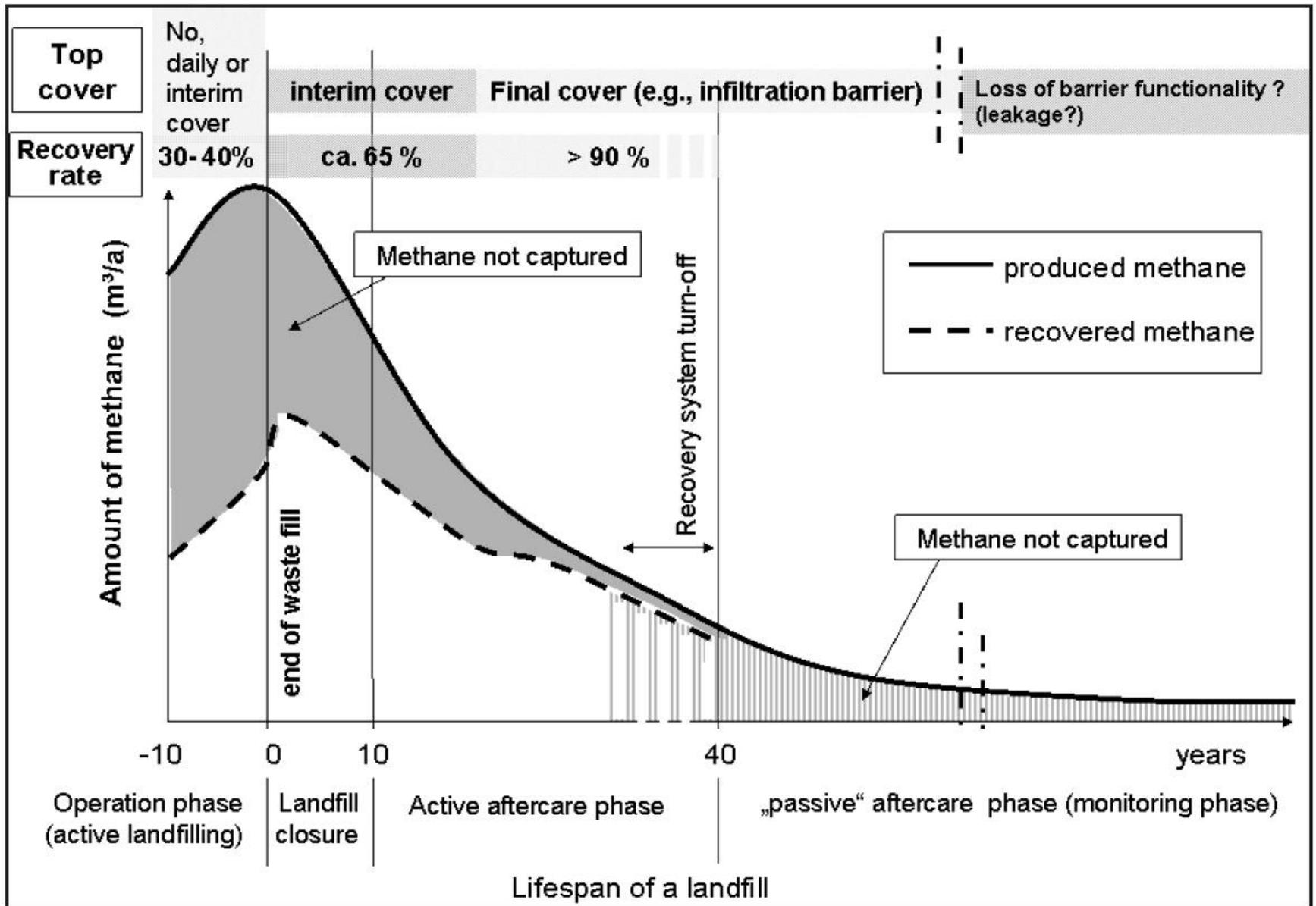
(rifiuti non pericolosi e rifiuti pericolosi)



Composizione del LFG



Produzione di LFG

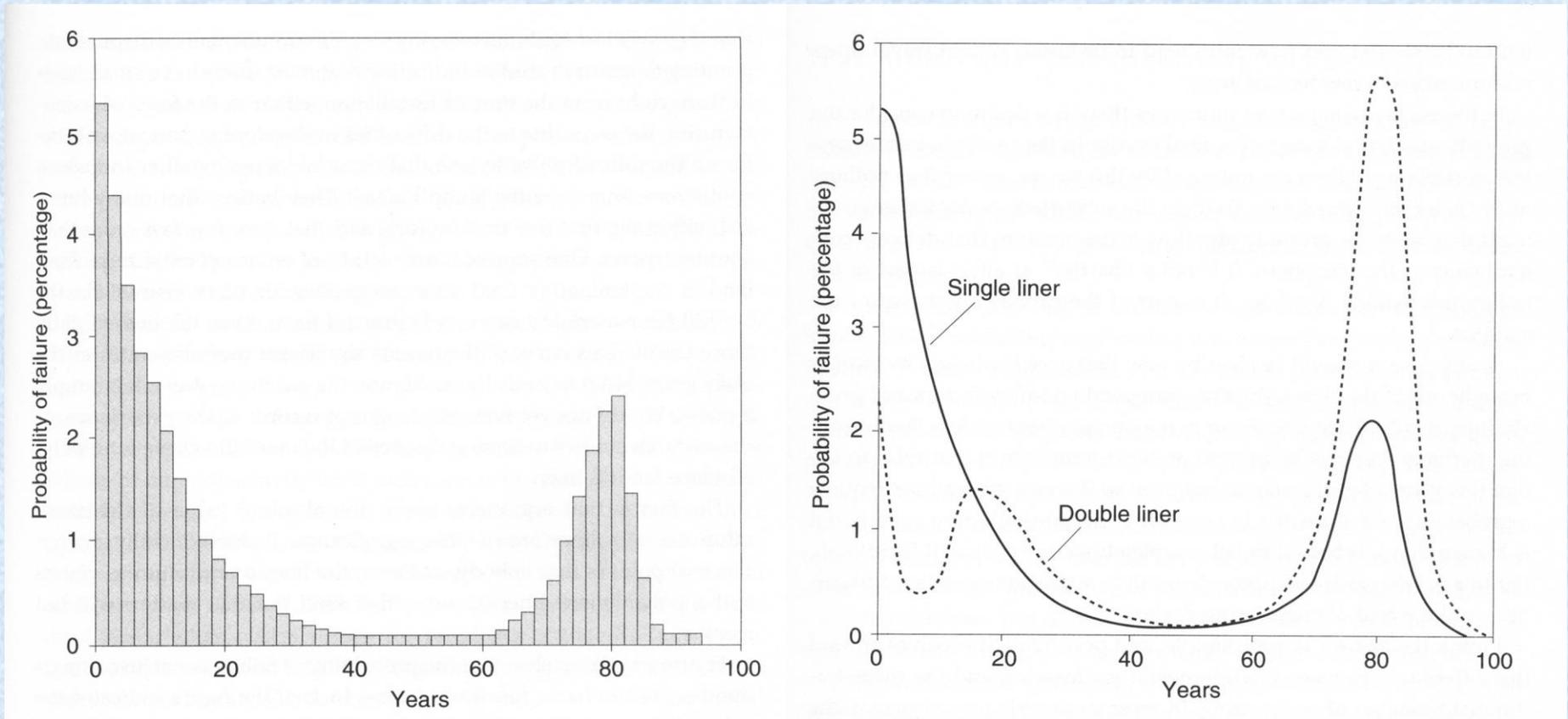


Qualità del percolato

Ammonia Concentrations in Landfill Leachate (All values are from older landfills in the methanogenic phase)

Ammonia-N (mg/l)	Reference
110	Average ammonia concentration from 104 old, Danish landfills (Kjeldsen and Christophersen, 2001)
233	Composite results at Sandsfarm Landfill, (Robinson, 1995)
282	Composite results at Bishop Middleham Landfill, (Robinson, 1995)
399	Composite results at Odsal Wood Landfill, (Robinson, 1995)
43	Composition results at East Park Drive Landfill, (Robinson, 1995)
30	Composition results at Marton Mere Landfill, (Robinson, 1995)
12-1571	Range of concentrations from 21-30 year old, German landfills (Krumpelbeck and Ehrig, 1999)
445	Average concentration from 21-30 year old, German landfills (Krumpelbeck and Ehrig, 1999)
740	Average concentration (Ehrig, 1988)

La “longevità” del sistema discarica

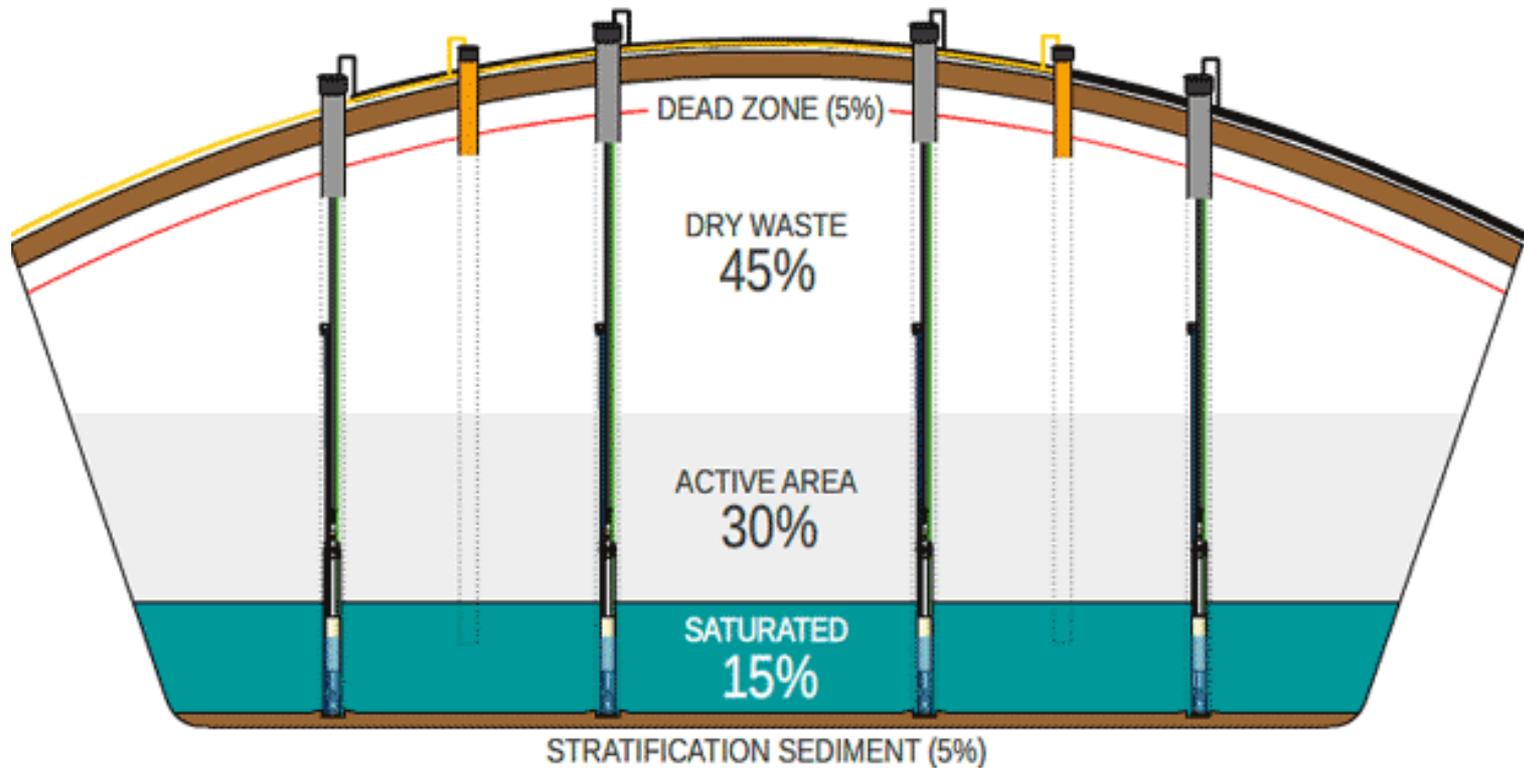


Curva di mortalità del sistema di impermeabilizzazione artificiale

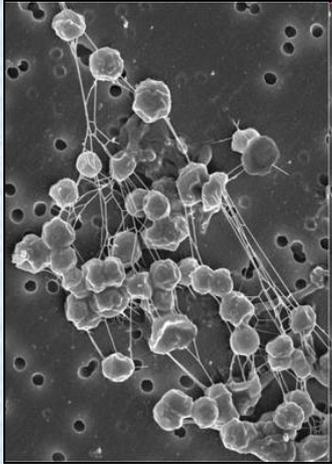
(source: “*The environmental pendulum*”, R. Allan Freeze, 2000)

la discarica “asciutta”

DRY TOMB

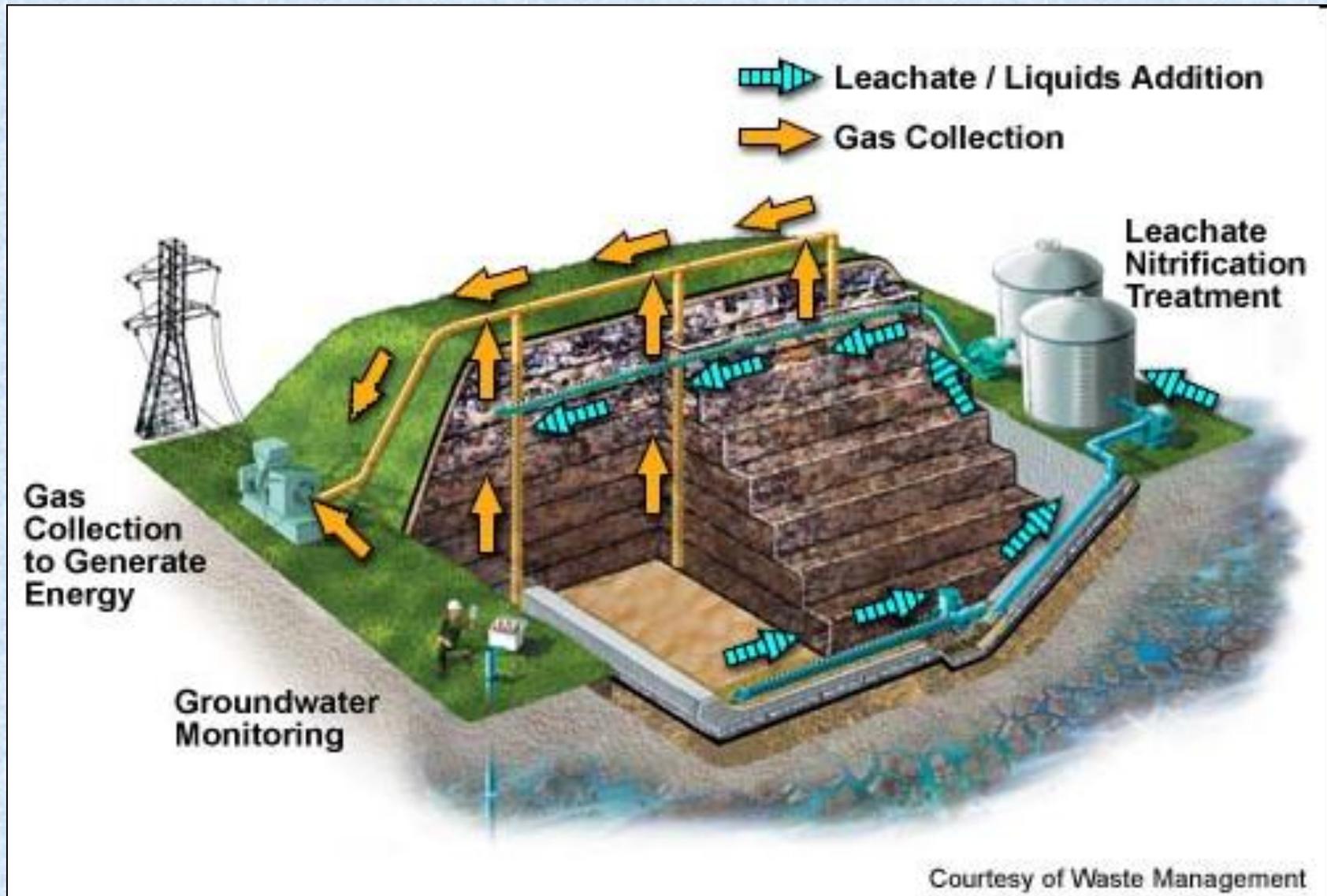


Fattori che influenzano la degradazione anaerobica metanigena dei rifiuti



Influencing factors	Criteria / Comments	References
Moisture	Optimum moisture content : 60% and above (by wet mass)	Pohland (1986) ; Rees (1980)
Oxygen	Optimum redox potential for methanogenesis: -200mV -300mV below -100mV	Farquhar and Rovers (1973) Christensen and Kjelden (1989) Pohland (1980)
pH	Optimum pH for methanogenesis: 6 to 8 6.4 to 7.2	Ehrig(1983)/ Farquhar and Rovers(1973)
Alkalinity	Optimum alkalinity for methanogenesis : 2000mg/l Maximum organic acids concentration for methanogenesis : 3000mg/l Maximum acetic acid/alkalinity ratio for methanogenesis : 0.8	Farquhar and Rovers (1973) Farquhar and Rovers (1973) Ehrig (1983)
Temperature	Optimum temperature for methanogenesis : 40° 41° 34—38°C	Rees (1980) Hartz et al. (1982) Mata-Alvarez et al. (1986)
Hydrogen	Partial hydrogen pressure for acetogenesis: below 10^{-6} atm.	Barlaz et al. (1987)
Nutrients	Generally adequate in most landfill except local systems due to heterogeneity	Christensen and Kjelden (1989)
Sulphate	Increase in sulphate decreases methanogenesis	Christensen and Kjelden 1989)
Inhibitors	Cation concentrations producing moderate inhibition (mg/ l) : Sodium 3500-5500 Potassium 2500-4500 Calcium 2500-4500 Magnesium 1000-1500 Ammonium(total) 1500-3000 Heavy metals : No significant influence Organic compounds : Inhibitory only in significant amount	McCarty and McKinney (1961) Ehrig(1983) Christensen and Kjelden(1989)

La discarica come bioreattore



La discarica bioreattore

DEFINIZIONE (S.W.A.N.A.)

*Una discarica controllata o una cella di discarica dove **le condizioni dei liquidi e dei gas sono gestite attivamente** allo scopo di accelerare o promuovere la biostabilizzazione dei rifiuti.*

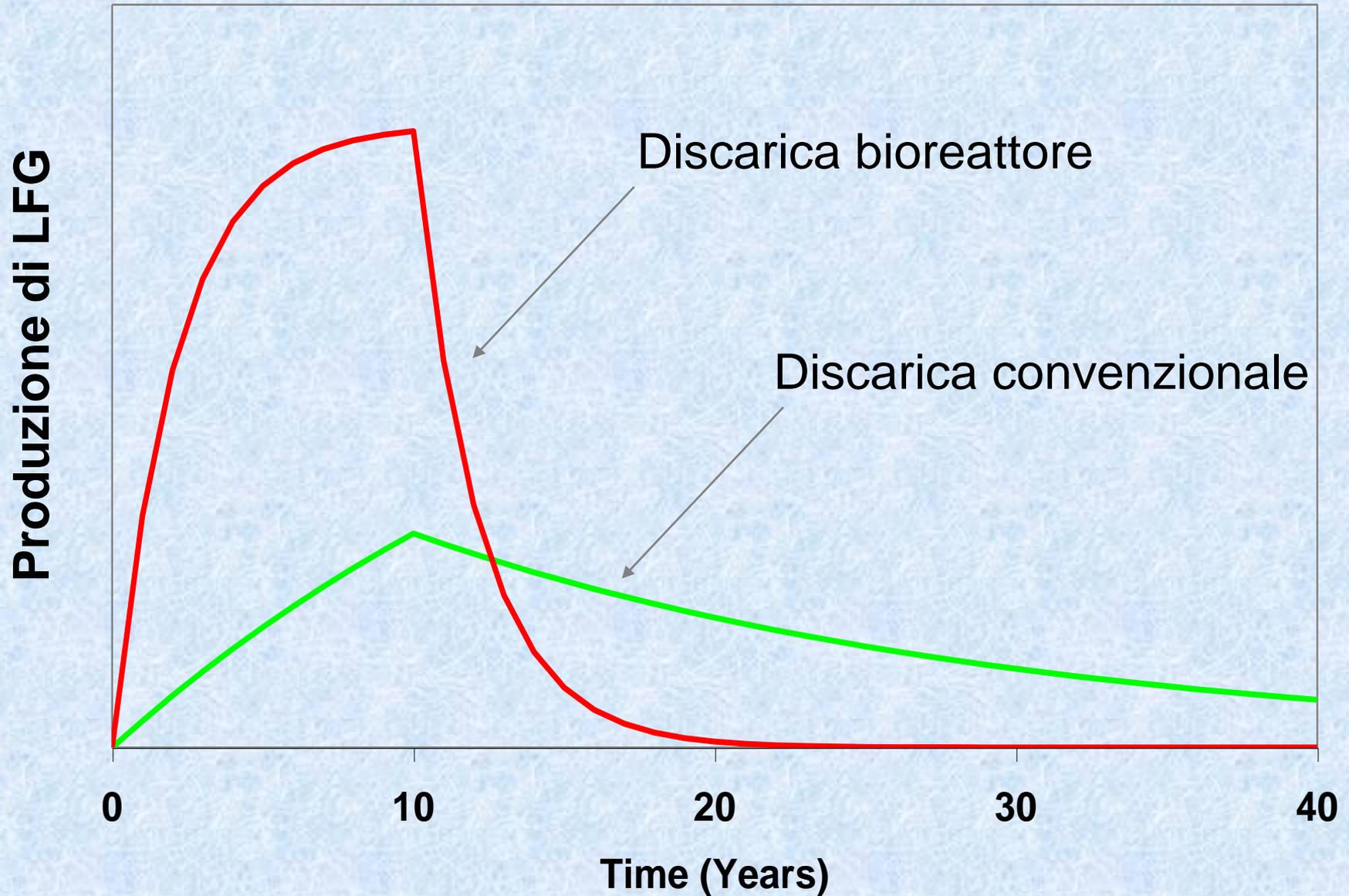
La discarica bioreattore aumenta significativamente l'estensione della decomposizione dei rifiuti, del tasso di trasformazione e dell'efficacia del processo rispetto a quanto avverrebbe in una discarica tradizionale.

La discarica bioreattore

DEFINIZIONE (US-EPA)

*Una discarica di RSU o una porzione di discarica per RSU dove qualunque liquido, diverso dal percolato o dal condensato del gas di discarica, è aggiunto nella massa dei rifiuti (spesso in combinazione con il ricircolo del percolato) **per raggiungere un contenuto di umidità medio di almeno il 40% in peso**, allo scopo di accelerare o incentivare la biodegradazione anaerobica dei rifiuti.*

La discarica bioreattore



La discarica bioreattore

BENEFICI POTENZIALI

- ✓ Aumentare il volume di smaltimento dei rifiuti attraverso il rapido assestamento
- ✓ Migliorare la flessibilità della gestione del percolato
- ✓ Aumentare la produzione e la possibilità di recupero energetico del LFG
- ✓ Ridurre il contenuto di sostanze inquinanti contenute nei rifiuti, nel percolato e nel LFG
- ✓ Ridurre i costi ed i rischi nella gestione post chiusura
- ✓ Rendere maggiormente sostenibile la gestione dei rifiuti in discarica



Decisione del Consiglio
2003/33/CE

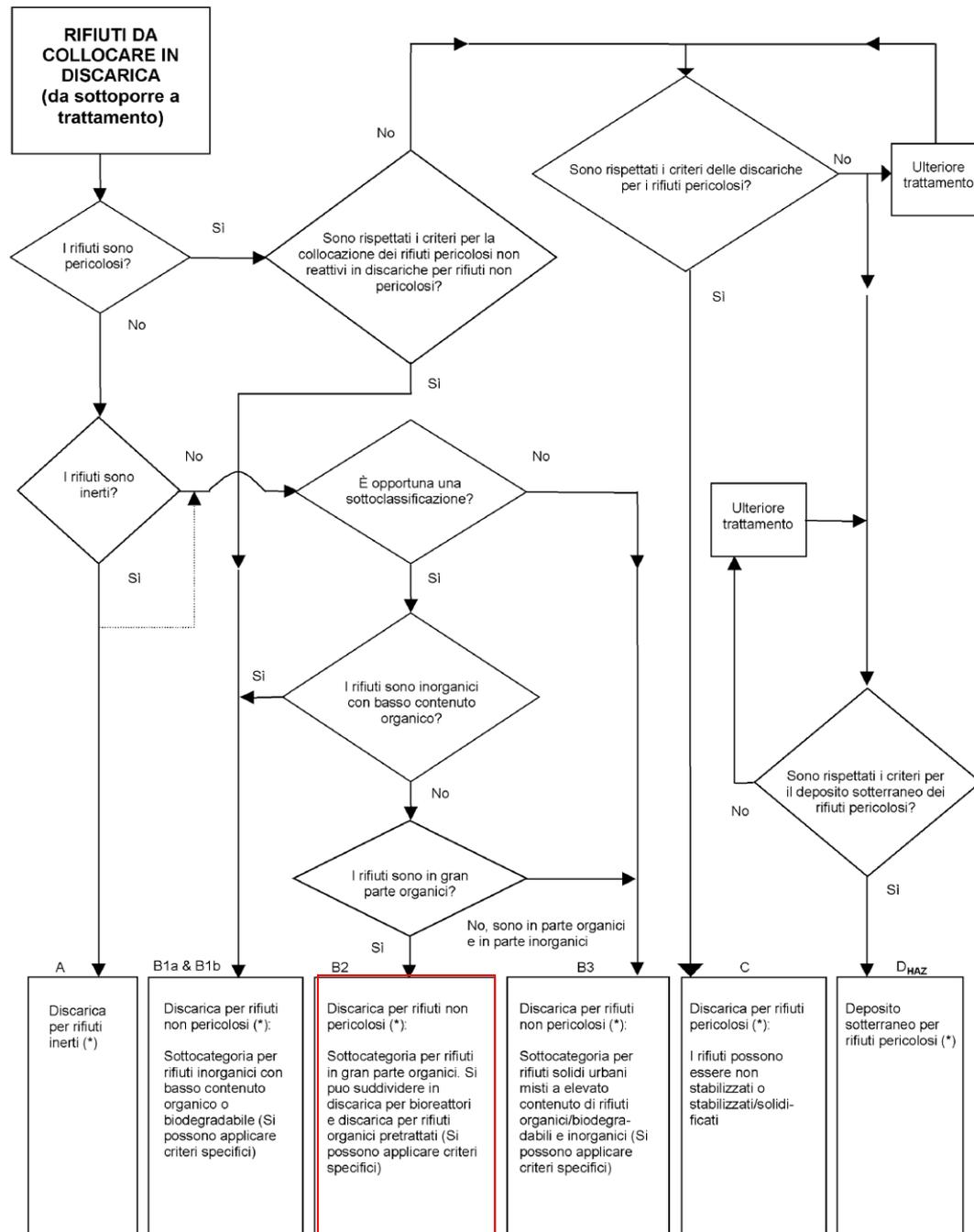
che stabilisce criteri e procedure per
l'ammissione dei rifiuti nelle discariche

del 19 dicembre 2002

Allegato B

Discarica
per
bioreattori:

Cat. B2



(*) In teoria il deposito sotterraneo è possibile anche per rifiuti non pericolosi.

Sintesi delle categorie di discariche ed esempi di sottocategorie

Categoria di discarica	Sottocategorie principali (impianti di deposito sotterraneo, monodiscariche e discariche per rifiuti solidificati e monolitici (*) ammissibili in tutte le categorie di discariche)	ID	Criteri di ammissibilità
Discarica per rifiuti inerti	Discarica in cui sono ammessi rifiuti inerti	A	I criteri per il colaticcio e per il tenore di componenti organici sono stabiliti a livello di UE (sezione 2.1.2). I criteri per il tenore di componenti inorganici possono venire stabiliti a livello di Stati membri.
Discarica per rifiuti non pericolosi	Discarica per rifiuti inorganici non pericolosi a basso tenore di materiale organico o biodegradabile, se i rifiuti non sono conformi ai criteri stabiliti alla sezione 2.2.2 per i rifiuti inorganici non pericolosi che possono essere collocati in discarica insieme a rifiuti pericolosi stabili e non reattivi.	B1a	I criteri per il colaticcio e per il contenuto totale non sono stabiliti a livello di UE.
	Discarica per rifiuti inorganici non pericolosi a basso tenore di materiale organico o biodegradabile.	B1b	I criteri per il colaticcio, per il tenore di materia organica (TOC) ed altre proprietà sono stabiliti a livello di UE, come pure i criteri per i rifiuti granulari non pericolosi e per i rifiuti pericolosi stabili e non reattivi (sezione 2.2). I criteri supplementari di stabilità per questi ultimi devono essere fissati a livello di Stati membri. I criteri per i rifiuti monolitici devono essere fissati a livello di Stati membri.
	Discarica per rifiuti organici non pericolosi.	B2	I criteri per il colaticcio e per il contenuto totale non sono stabiliti a livello di UE.
	Discarica per rifiuti misti non pericolosi con elevato contenuto sia di rifiuti organici o biodegradabili che di rifiuti inorganici.	B3	I criteri per il colaticcio e per il contenuto totale non sono stabiliti a livello di UE.
Discarica per rifiuti pericolosi	Discarica di superficie per rifiuti pericolosi	C	I criteri per il colaticcio applicabili ai rifiuti granulari pericolosi e al contenuto totale di alcuni componenti sono stati fissati a livello di UE (sezione 2.4). I criteri per i rifiuti monolitici devono essere fissati a livello di Stati membri. Gli Stati membri possono fissare criteri supplementari per i contaminanti.
	Sito per lo stoccaggio sotterraneo	D _{HAZ}	I requisiti speciali fissati a livello di UE sono elencati nell' allegato A.



(*) Le sottocategorie relative ai rifiuti monolitici riguardano solo B1, C, D_{HAZ} ed eventualmente A.

La discarica bioreattore

TIPI DI BIOREATTORE

terminologia

- Aerobico
 - Anaerobico ←
 - Ibrido
-
- Bioreattore “as-built”
 - Bioreattore “retrofit” ←

La discarica bioreattore

elemento chiave:

L'IMMISSIONE DI LIQUIDI

- percolato ←
- condensato di LFG ←
- acqua sotterranea o superficiale
- *co-disposal* mediante rifiuti molto umidi (es. fanghi dal trattamento delle acque reflue)

La discarica bioreattore

QUANTO LIQUIDO AGGIUNGERE?

Approccio tipico:

incrementare l'umidità naturale dei rifiuti fino a raggiungere la loro capacità di campo

capacità di campo: il contenuto in umidità che il rifiuto può contenere sotto l'azione della gravità (acqua di ritenzione)

$$U(\%) = \frac{\text{Peso umido} - \text{Peso secco}}{\text{Peso Secco}} \times 100$$

$$U_{\text{rifiuto}} = 40-60\% \text{ del peso umido}$$

capacità di campo dei RSU in discarica

Field Capacity % wet weight	Density, kg m ⁻³ (lb yd ⁻³)	Reference
53	213 ^a (359)	Kmet, 1982
54	500-800 (843-1350)	Quasim and Buchinal, 1970
43-50 ^b	500-800 (843-1350)	Reinhart and Ham, 1974
53 ^b	690-950 (1160-1600)	Reinhart and Ham, 1974
47	710 (1200)	Reinhart and Ham, 1974
20-30	616 ^a (1038)	Holmes, 1983
20-35	688 (1160)	Korfiatis et al, 1984
36.8	310 (520)	Oweis et al, 1990
28.6	287 (485)	Walsh and Kinman, 1979
31-48	503 (850)	Remson et al, 1968
48	440 (735)	Canziani and Cossu, 1989
35	474 (800)	Fungaroli and Steiner, 1979

^a dry ; ^b shredded

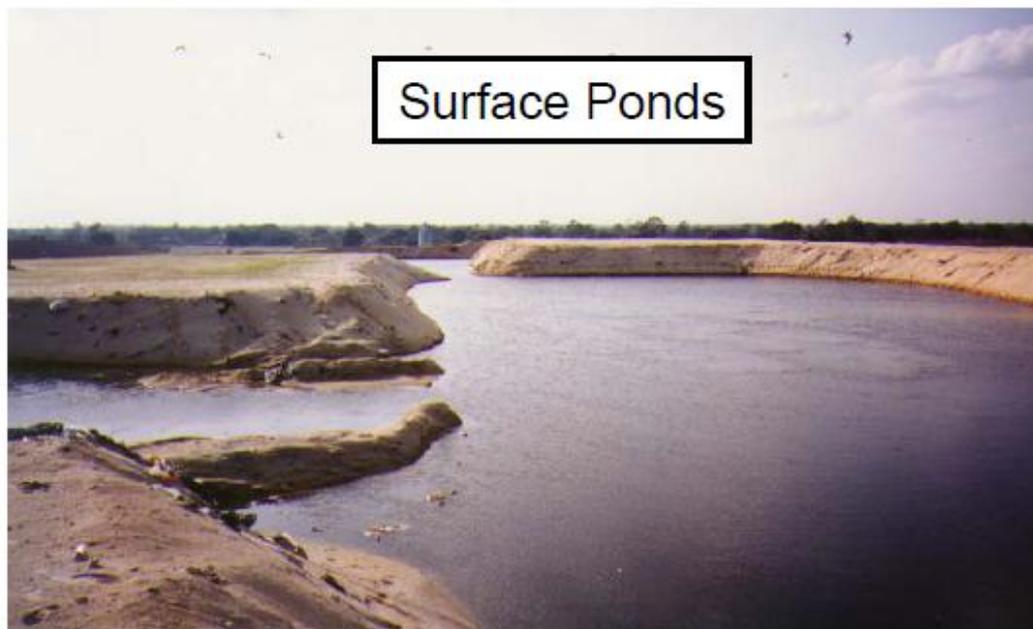
La discarica bioreattore

TECNICHE DI AGGIUNTA DI LIQUIDI

Sistemi di superficie

- Irrigazione a spruzzo
- Irrigazione a goccia
- Irrigazione con autobotte
- Vasche e campi di infiltrazione
- Trincee superficiali

Sistemi di superficie



da T. G. Townsend (2003)

La discarica bioreattore

TECNICHE DI AGGIUNTA DI LIQUIDI

Sistemi sub-superficiali

- Pozzi verticali di iniezione
- Trincee orizzontali
- Superfici d'infiltrazione (*blankets*)
- Sistemi combinati

Sistemi sub-superficiali



da T. G. Townsend (2003)

La conducibilità idraulica dei rifiuti

Table 1. Previous Studies Reporting Hydraulic Conductivity of MSW

Measurements	Hydraulic conductivity (cm/s)	Test
Laboratory		
Fungaroli and Steiner (1979)	10^{-4} – 10^{-2}	Constant head
Korfiatis et al. (1984)	8×10^{-3} – 1.3×10^{-2}	Constant head
Noble and Arnold (1991)	8.4×10^{-5} – 6.6×10^{-4}	Constant head
Bleiker et al. (1993)	1×10^{-8} – 3×10^{-7}	Falling head
Chen and Chynoweth (1995)	4.7×10^{-5} – 9.6×10^{-2}	Constant head
Landva et al. (1998)	2×10^{-6} – 2×10^{-3}	Constant head ^a
	4×10^{-5} – 1×10^{-3}	Constant head ^b
Powrie and Beaven (1999)	3.7×10^{-6} – 1.5×10^{-2}	Constant head
Jang et al. (2002)	2.91×10^{-4} – 2.95×10^{-3}	Constant head
Field		
Ettala (1987)	5.9×10^{-3} –0.25	Pumping test (Jacob method)
Oweis et al. (1990)	1.0×10^{-3} – 2.5×10^{-3}	Pumping test (Theis method)
Shank (1993)	6.7×10^{-5} – 9.8×10^{-4}	Slug test
Townsend et al. (1995)	3×10^{-6} – 4×10^{-6}	Zaslavasky wetting front
Landva et al. (1998)	10^{-3} – 3.9×10^{-2}	Flow nets
Wysocki et al. (2003)	1.2×10^{-5} – 6.3×10^{-4}	Pumping test

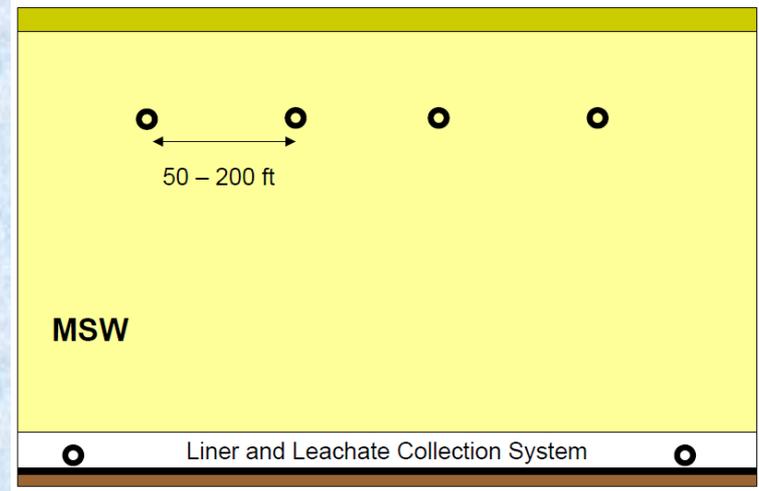
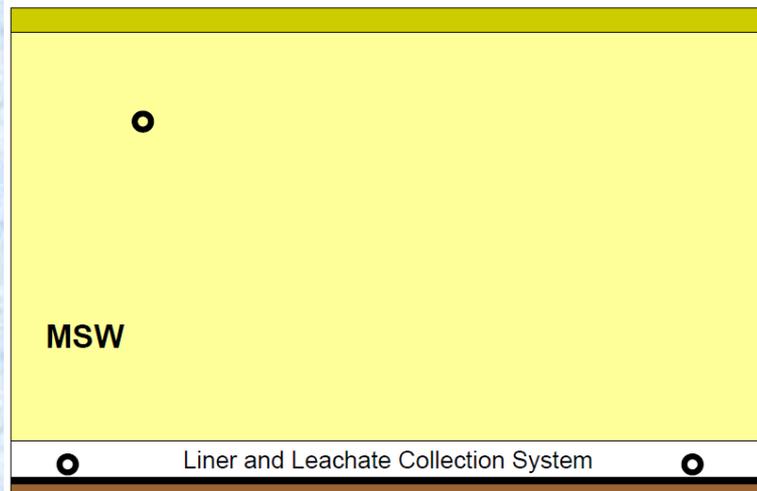
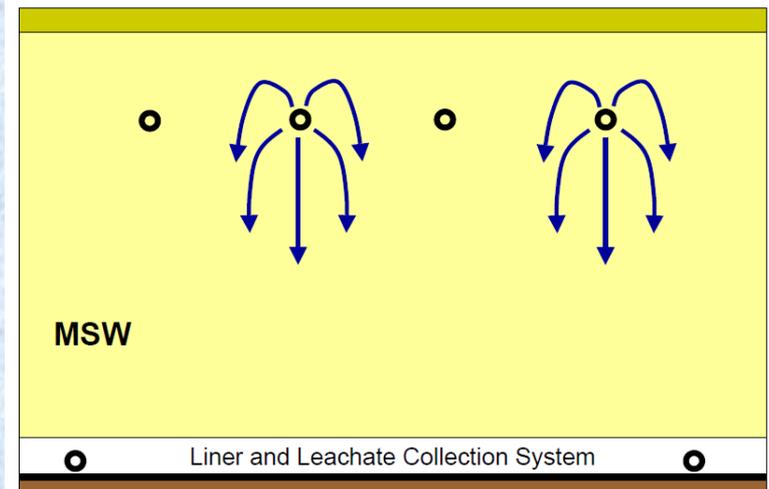
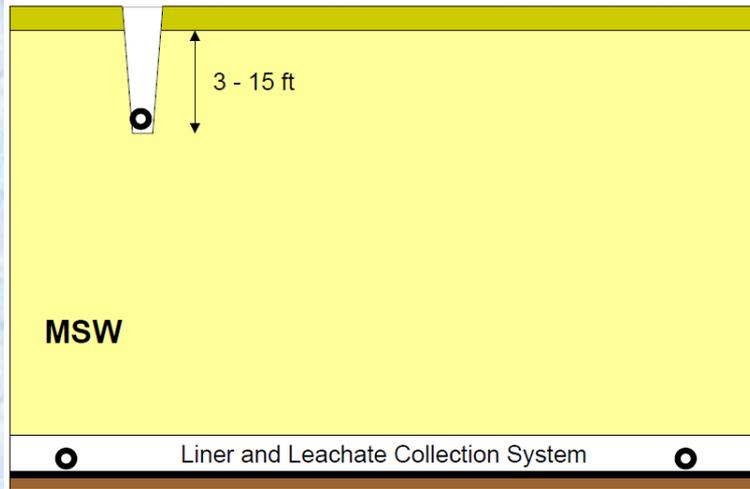
^aHydraulic conductivity in the vertical direction.

^bHydraulic conductivity in the horizontal direction.

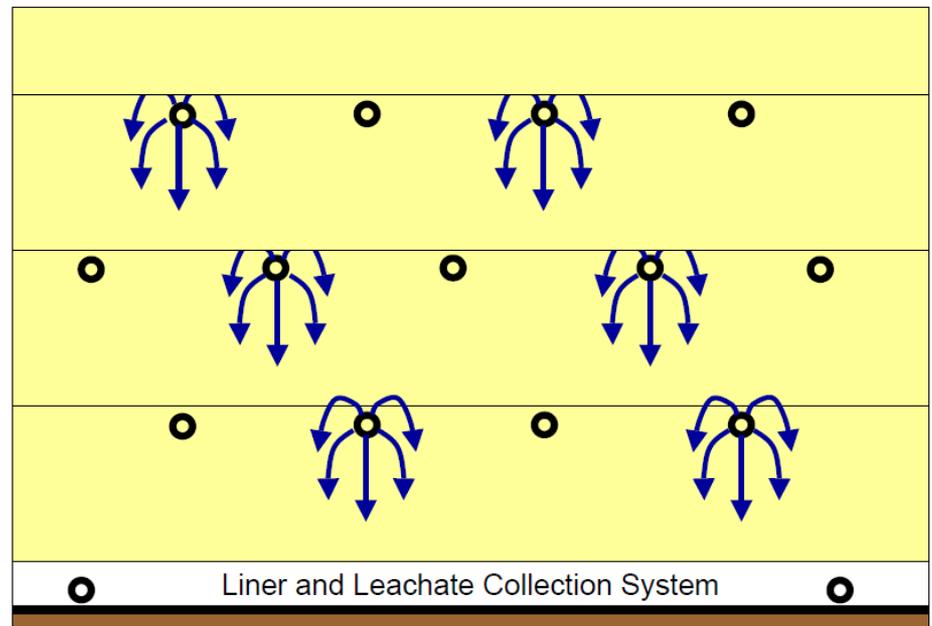
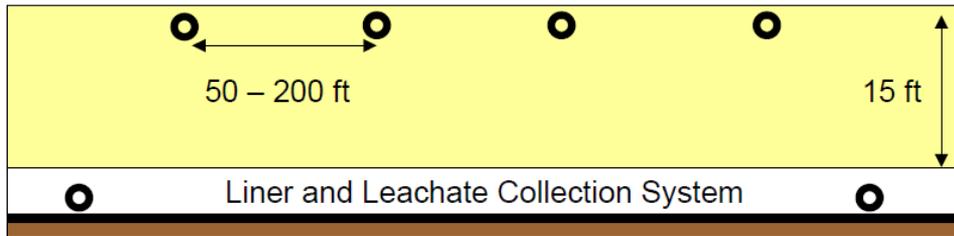
Source: Estimating the Hydraulic Conductivity of Landfilled Municipal Solid Waste Using the Borehole Permeameter Test (2006)

Pradeep Jain; Jon Powell; Timothy G. Townsend, P.E. and Debra R. Reinhart

Trincee orizzontali superficiali (*retrofit*)



Trincee orizzontali profonde (*as-built*)

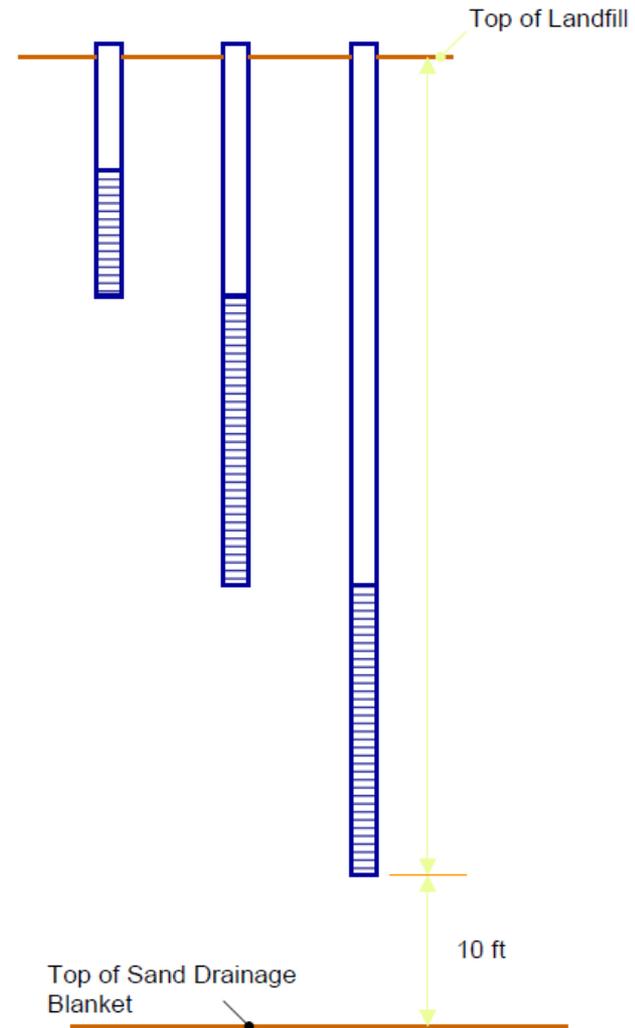
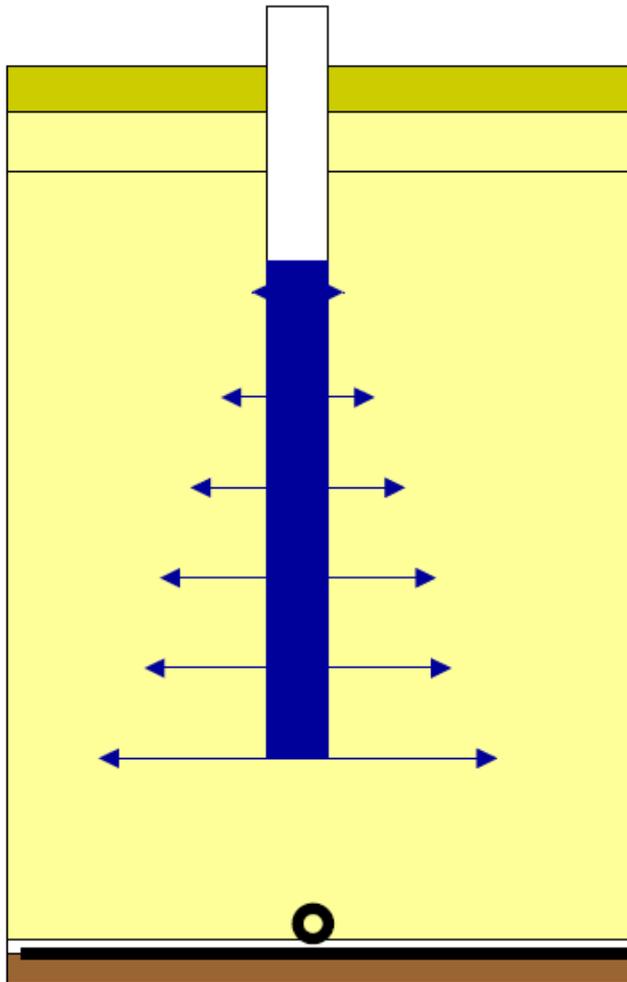


Trincee orizzontali



da T. G. Townsend (2003)

Pozzi verticali di iniezione



Pozzi verticali di iniezione



La discarica bioreattore

MONITORAGGIO

- Qualità del percolato
 - Quantità di percolato estratto
 - Quantità di percolato immesso
 - Livello di percolato sul fondo
 - Qualità di LFG estratto
 - Quantità di LFG estratto
 - Emissioni di LFG (atmosfera e sottosuolo)
 - Caratteristiche dei rifiuti (composizione e umidità)
 - Assestamento e stabilità
- } **bilancio**

ELEMENTI CRITICI DA CONSIDERARE (modificato da Reinhart D. R. et al., 2002)

- ✓ Nel caso si utilizzino sistemi di copertura mediante membrane artificiali, potrebbero verificarsi **rigonfiamenti e strappi** a causa della pressione del LFG
- ✓ L'assestamento rapido della massa dei rifiuti può determinare la formazione di **avvallamenti superficiali**
- ✓ I **percorsi preferenziali** del percolato possono impedire il raggiungimento della capacità di campo per l'intera massa dei rifiuti
- ✓ E' necessario **incrementare l'estrazione del percolato** dal sistema di drenaggio di fondo per evitare la formazione di un elevato battente insistente sull'impermeabilizzazione

ELEMENTI CRITICI DA CONSIDERARE (modificato da Reinhart D. R. et al., 2002)

- ✓ I rifiuti sono spesso caratterizzati da una **permeabilità verticale inferiore** a quanto prevedibile
- ✓ L'eterogeneità dei rifiuti e eventuali coperture giornaliere mediante materiale naturale impermeabile possono produrre **filtrazioni laterali di percolato**
- ✓ La produzione accelerata di LFG può produrre **odori e rischi di migrazione**, se non si interviene con una efficace estrazione forzata
- ✓ I sistemi di immissione ed estrazione del percolato possono essere vulnerabili a **intasamenti e dissesti**
- ✓ L'aumento di **condensato nel LFG** può indurre problemi nei sistemi di estrazione forzata

ELEMENTI CRITICI DA CONSIDERARE (modificato da Reinhart D. R. et al., 2002)

- ✓ Nei periodi piovosi deve essere prevista la possibilità di un adeguato **stoccaggio e smaltimento del percolato**
- ✓ In condizioni di siccità, **il percolato prodotto potrebbe risultare insufficiente** per raggiungere la capacità di campo
- ✓ Un **incremento della pressione interstiziale** dovuta all'alto contenuto di umidità dei rifiuti può determinare la **riduzione del fattore di sicurezza** nella stabilità delle scarpate e delle barriere di copertura
- ✓ I percorsi preferenziali producono un **iniziale incremento della produzione di percolato**, che tuttavia dovrebbe ridursi col tempo, ottenendo progressivamente il raggiungimento della capacità di campo

normativa nazionale in materia di discariche di rifiuti



- **Decreto Legislativo 13 gennaio 2003 n. 36**
(Attuazione della *Direttiva 1999/31/CE* sulle
Discariche di Rifiuti)
G.U. 12 Marzo 2003 n. 59
- **Decreto Ministeriale 27 settembre 2010**
(*Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in
discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel
decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del
territorio 3 agosto 2005*)
G.U. 1° Dicembre 2010 n. 281



Decreto Ministeriale 27 settembre 2010

Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica

ART. 7

SOTTOCATEGORIE DI DISCARICHE PER RIFIUTI NON PERICOLOSI

1. Nel rispetto dei principi stabiliti dal decreto legislativo 13 gennaio 2003, n. 36, le autorità territorialmente competenti possono autorizzare, anche per settori confinati, le seguenti sottocategorie di discariche per rifiuti non pericolosi:

- a)** discariche per rifiuti inorganici a basso contenuto organico o biodegradabile;
- b)** discariche per rifiuti in gran parte organici da suddividersi in discariche considerate **bioreattori** con recupero di biogas e discariche per rifiuti organici pretrattati;
- c)** discariche per rifiuti misti non pericolosi con elevato contenuto sia di rifiuti organici o biodegradabili che di rifiuti inorganici, con recupero di biogas.



Decreto Legislativo 13 gennaio 2003 n. 36

in materia di discariche di rifiuti

2.3. CONTROLLO DELLE ACQUE E GESTIONE DEL PERCOLATO

(1/2)

Devono essere adottate tecniche di coltivazione e gestionali atte a minimizzare l'infiltrazione dell'acqua meteorica nella massa dei rifiuti. Per quanto consentito dalla tecnologia, tali acque meteoriche devono essere allontanate dal perimetro dell'impianto per gravità, anche a mezzo di idonee canalizzazioni dimensionate sulla base delle piogge più intense con tempo di ritorno di 10 anni.

Il percolato e le acque di discarica devono essere captati, raccolti e smaltiti per tutto il tempo di vita della discarica, secondo quanto stabilito nell'autorizzazione, e comunque per un tempo non inferiore a 30 anni dalla data di chiusura definitiva dell'impianto.



Decreto Legislativo 13 gennaio 2003 n. 36

in materia di discariche di rifiuti

2.3. CONTROLLO DELLE ACQUE E GESTIONE DEL PERCOLATO

(2/2)

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

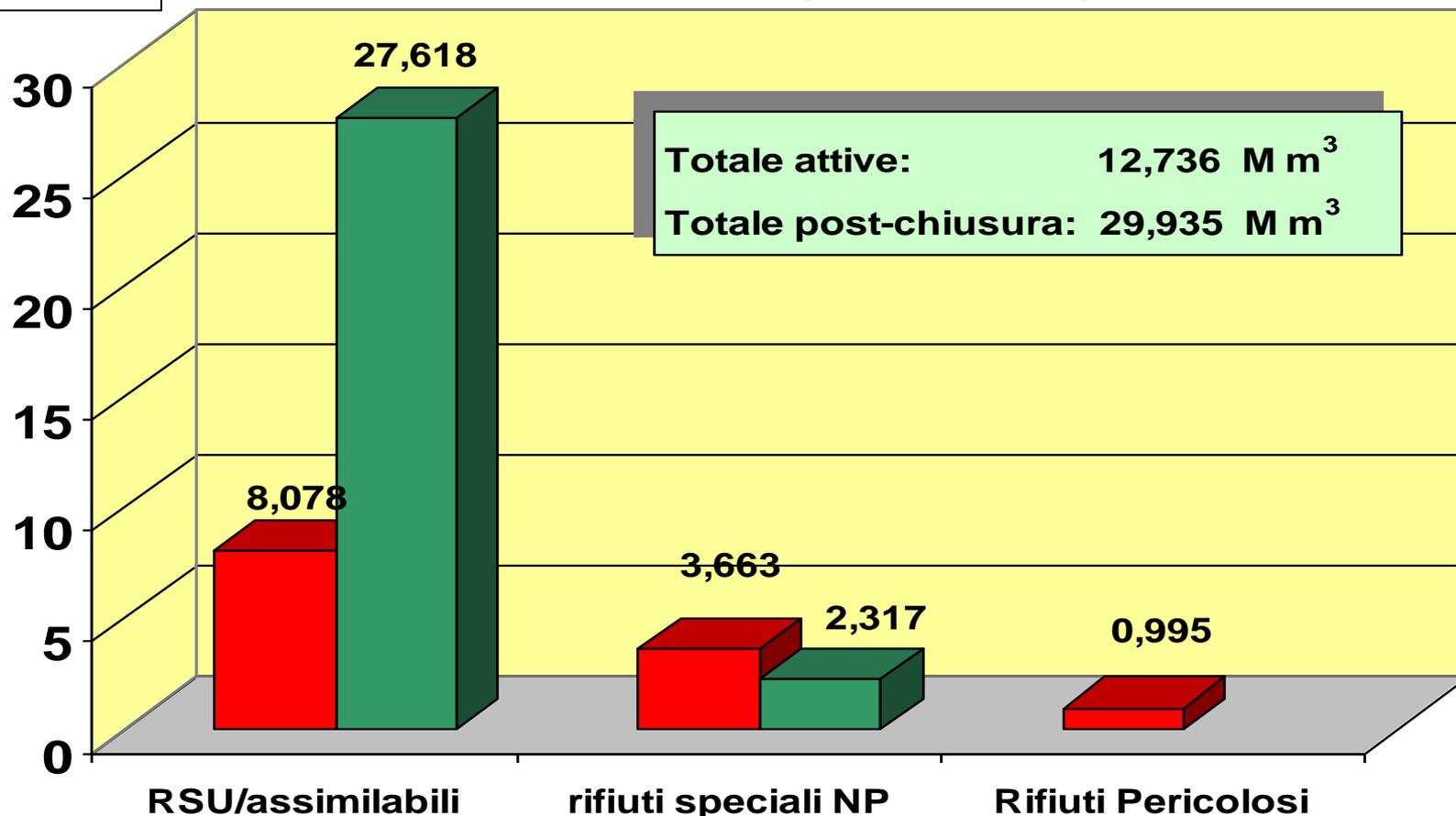
- **minimizzare il battente idraulico** di percolato sul fondo della discarica al minimo compatibile con i sistemi di sollevamento e di estrazione;
- **prevenire intasamenti ed occlusioni** per tutto il periodo di funzionamento previsto;
- **resistere all'attacco chimico** dell'ambiente della discarica;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

Il percolato e le acque raccolte devono essere trattate in impianto tecnicamente idoneo di trattamento al fine di garantirne lo scarico nel rispetto dei limiti previsti dalla normativa vigente in materia. **La concentrazione del percolato può essere autorizzata solo nel caso in cui contribuisca all'abbassamento del relativo battente idraulico; il concentrato può rimanere confinato all'interno della discarica.**

DISCARICHE DI RIFIUTI



VOLUMI AUTORIZZATI (M m³) Provincia di Torino (anno 2012)



■ discariche attive ■ discariche post-chiusura

Il riutilizzo del percolato in discarica

Autorizzazioni rilasciate in Provincia di Torino

anno	discarica	tipo
2002	ex 1 ^a Categoria per RSU adeguata a discarica per rifiuti NP	Sperimentale (1 anno) di reiniezione di percolato in “Flushing Bioreactor” mediante sistemi orizzontali “as built”. Obiettivo: incrementare la produzione di LFG
2007	ex 1 ^a Categoria per RSU-RSA	“retrofit” di discarica esaurita mediante pozzi verticali di immissione Obiettivo: incrementare la produzione di LFG
2008	mono-discarica per rifiuti NP (<i>car fluff</i>)	Bagnatura superficiale dei rifiuti con percolato Obiettivo: ridurre il rischio di incendio

ELEMENTI DA VALUTARE E PRESCRIZIONI

(1/2)

- obiettivo definito (es. incremento produzione di LFG)
- quantitativo di percolato necessario
- modalità di immissione
- efficienza del sistema di drenaggio del percolato
- efficienza del sistema di estrazione del LFG
- misura del livello di percolato, indipendentemente dal sistema di sollevamento
- interferenze con altre dotazioni impiantistiche presenti

ELEMENTI DA VALUTARE E PRESCRIZIONI

(2/2)

- migrazione LFG in atmosfera e nel sottosuolo (odori e rischi)
- infiltrazioni laterali e superficiali di percolato
- assestamento dei rifiuti
- stabilità del corpo discarica e delle barriere di copertura
- Integrazione del piano di monitoraggio
- compatibilità con le prescrizioni esistenti
- compatibilità con eventuali interventi di bonifica in corso (inquinamento acque sotterranee, migrazione LFG nel sottosuolo)

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI UTILI



EPA Workshop on Bioreactor Landfills

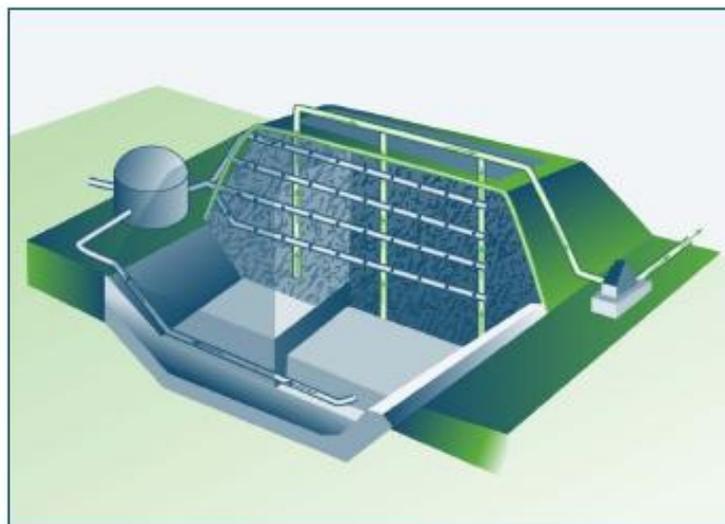
February 27-28, 2003, Crystal City (USA)

<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/landfill/bio-work>



Technical/Regulatory Guideline

Characterization, Design, Construction, and Monitoring of Bioreactor Landfills



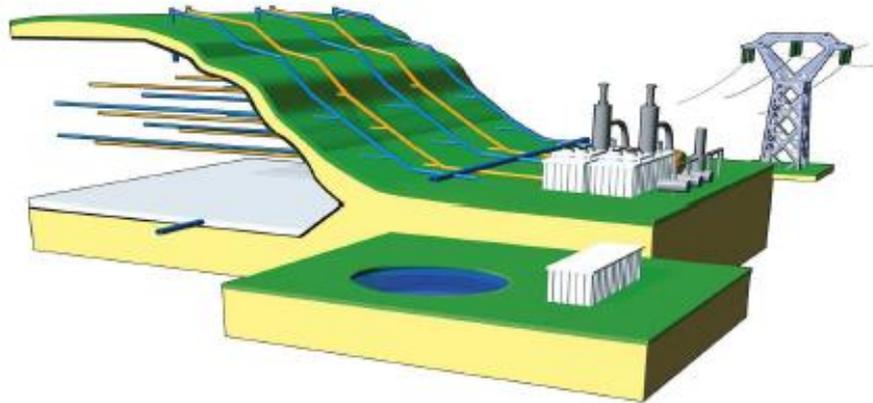
**ITRC
(2006)**

February 2006

Prepared by
The Interstate Technology & Regulatory Council
Alternative Landfill Technologies Team



STATE-OF-THE-PRACTICES AND
IMPLEMENTATION RECOMMENDATIONS FOR
NON-HAZARDOUS WASTE MANAGEMENT
USING
BIOREACTOR LANDFILLS



FNADÉ-ADEME
(2007)

December 2007



**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**