Regione EMILIA ROMAGNA Provincia di MODENA

Comune di Mirandola

DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI VIA BELVEDERE NEL COMUNE DI MIRANDOLA (MO)

INTEGRAZIONE DEL PROGETTO PER L'ADEGUAMENTO AL D. Lgs. 36/03 DELLA DISCARICA

COMMITTENTE:

AIMAG S.p.A.

Via Mario Merighi, 3 - 41037 Mirandola (MO)
Tel. 0535/28111 - Fax 0535/28217
C.F. e P.I.00664670361 - E mail: info@aimag.it

DIRIGENTE DEL SERVIZIO TECNICO AMBIENTALE:
Dott. Ing. Adelmo Bonvicini

PROGETTISTA:

Studio Associato di Ingegneria Gasparini

Via E. Petrolini, 14 - 42100 Reggio Emilia
Tel: 0522-557508 ; Fax: 0522-557556
E-mail: stading@tuttopmi.it

Dott. Ing. Stefano Teneggi

Data: Giugno 2004

Scala:

Rif.

EMISSIONE:	DATA:

SOSTITUISCE IL

SOSTITUITO DA

Titolo tavola

Punto 1-EQUIVALENZA DELLE CARATTERISTICHE DEL FONDO

Descrizione

Tav n°

La richiesta di integrazioni formulata dall'autorità competente comporta l'elaborazione di una *"relazione che dimostri la conformità ovvero, in mancanza di questa, l'equivalenza del fondo e della copertura sommitale per la parte di discarica esaurita. In subordine dovrà essere redatta un'apposita analisi del rischio, come previsto dalla DGR n° 1530/03".*

Nel seguito si tratta l'argomento e si sviluppano le conseguenti integrazioni riproponendo lo schema del criterio costruttivo di cui al punto 2.4 dell'allegato 1 al D.Lgs. 36/03.

1. Barriera geologica relativa al fondo invaso ed alle scarpate. Punto 2.4.2. dell'allegato 1.

La norma prevede che una discarica per rifiuti non pericolosi sia ubicata in aree con idonea barriera geologica, cioè con base e fianchi caratterizzati da una *formazione geologica naturale che risponda a requisiti di permeabilità e spessore almeno equivalente a* $k \leq 1*10^{-9}$ *m/s con spessore* ≥ 1 *m.*

Sulla barriera geologica deve essere prevista l'impermeabilizzazione del fondo e delle pareti con un rivestimento di materiale artificiale posto al di sopra della barriera geologica, su uno strato di materiale minerale compattato. Tale rivestimento deve avere caratteristiche idonee a resistere alle sollecitazioni chimiche e meccaniche presenti nella discarica.

Le caratteristiche del sistema barriera di confinamento artificiale sono garantite normalmente dall'accoppiamento di materiale minerale compattato con una geomembrana. L'utilizzo della sola geomembrana non costituisce in nessun caso un sistema di impermeabilizzazione idoneo; la stessa deve essere posta a diretto contatto con lo strato minerale compattato, senza interposizione di materiale drenante.

E' evidente che le specifiche soprindicate richiedono, comunque, la posa di un rivestimento in materiale artificiale. Questo fa sì che il fondo invaso della discarica non possa ritenersi conforme rispetto alla norma, peraltro emanata a posteriori rispetto l'esecuzione dell'opera.

Come già indicato nel Piano di Adeguamento, le scarpate sono state rivestite con una geomembrana in ldpe da 200 g/m^2. Si ricorda inoltre che l'intervento di adeguamento del fondo non è possibile, in quanto il sistema di drenaggio delle acque meteoriche e del percolato è stato già realizzato quindi, l'introduzione della geomembrana comporterebbe lo smantellamento dell'intera opera drenate costituita da geotessile termosaldato, posto al di sopra dello strato di argilla compattata, tubi in hdpe e ghiaia non calcarea.

Per la dimostrazione dell'equivalenza, passaggio obbligato rispetto alle condizioni imposte dall'autorità competente, si ripropone l'esame del sito e delle operazioni effettuate.

In seguito alle considerazione riportate nella relazione dello studio geologico geotecnico ed idrogeologico redatta a cura dei dott. geologi Cestari e Piacentini, si può affermare che il terreno naturale dell'area di discarica mostra condizioni di bassissima permeabilità.

In particolare *"...si rileva la presenza di una copertura alluvionale a tessitura argillosa e argillo-limosa dello spessore medio di 9,00 m, a cui fanno seguito sabbie da sciolte ad addensate, sede del primo acquifero locale. Un modesto livello limoso dello spessore trascurabile di circa 0,40 metri si riscontra nelle C.P.T.U. n° 1, 2, 3, 6, e 10 posto alla profondità media di 5,20 m dal piano campagna. Tale strato è evidentemente limitato e circoscritto e non comporta interferenze negative con l'invaso di discarica ...";*

"...le caratteristiche granulometriche e le proprietà fisiche dei terreni coesivi (fino alla profondità di 9,00 m dal p.c.) sono state ampiamente definite con prove di laboratorio.

I campioni più superficiali sono argillosi compatti umidi, quelli sottostanti sono limo-argillosi poco consolidati, plastici ... ";

"... il livello freatimetrico delle acque di falda è stato controllato in piezometri superficiali e si trova ad una profondità variabile da -1,70 a -2,00 m dal p.c. (rilievo del dicembre 1998). Il livello piezometrico è stato rilevato durante l'esecuzione delle prove C.P.T.U., nei sondaggi, e nelle misure eseguite su pozzi ubicati nelle zone limitrofe. Dai risultati ottenuti la falda estiva risulta essere posizionata ad una profondità variabile da -4,20 a -1,4 metri dal p.c.: la quota rilevata è imputabile alla risalienza delle acque dall'acquifero profondo, che risulta essere in condizioni di semipressione, in quanto confinato dalla sovrastante formazione argillosa, come testimoniato dalle prove di dissipazione eseguite in sabbia ...";

"... il primo substrato coesivo è stato oggetto di particolari indagini, finalizzate alla determinazione dei parametri idraulici. Sono state eseguite prove dirette in sito mediante dissipazione delle pressioni neutre, ottenendo valori di K_h variabili da un massimo di $9,51 \times 10^{-7}$ cm/s (alla profondità di 6,3 m nella C.P.T.U. n° 8) ad un minimo pari a $7,15 \times 10^{-7}$ cm/s (alla profondità di 8,5 m nella C.P.T.U. n° 1).

In laboratorio terre sono state eseguite le prove di permeabilità a mezzo edometro e sono emersi valori di K variabili da $1,37 \times 10^{-7}$ cm/s a $7,63 \times 10^{-9}$ cm/s, che risultano essere i coefficienti di permeabilità verticale.

Terreni con queste caratteristiche sono da ritenersi tecnicamente impermeabili....".

Peraltro si osserva che, come normalmente effettuato nelle discariche impermeabilizzate con strati minerali, è inserito uno strato di argille compattate dello spessore di almeno 100 cm. Tale intervento si rende sempre opportuno poiché durante i tempi di lavorazione si ha un rilassamento dei terreni di fondo scavo, anche a causa della diminuzione delle pressioni litostatiche e dei possibili ristagni idrici in occasione di periodi piovosi, e consente di ottenere una miglior omogeneità del terreno a diretto contatto con il piano di imposta dei rifiuti.

Si rileva che la scelta adottata in fase esecutiva corrisponde ai criteri costruttivi indicati dal D.Lgs. 36/03 relativi alla formazione della barriera di confinamento, con strato minerale dello spessore di 100 cm e permeabilità inferiore a 10^{-9} m/s, realizzato per strati uniformi compattati dello spessore di 20 cm ciascuno.

La soluzione tecnica in essere, seppur certamente efficace, introduce elementi di *non conformità* rispetto ai criteri costruttivi introdotti dall'allegato 1 del D.Lgs. 36/03, riconducibili alla diversa stratigrafia di costruzione del fondo e delle scarpate.

La *valutazione di equivalenza* tra quanto finora realizzato e previsto nell'impianto e quanto indicato dalla norma per garantire le caratteristiche del sistema barriera di confinamento viene sviluppata nel seguito.

Lo scopo di questa analisi consiste, anche se si tratta di una discarica già costruita, nell'evidenziare la bontà delle scelte finora attuate e dimostrare la loro conformità ai requisiti tecnici suddetti, in quanto equivalente ai requisiti tecnici degli allegati 1 e 2 del D.Lgs. 36/03, *nel rispetto di quanto indicato relativamente all'art. 9 dell'allegato degli indirizzi operativi di cui alla D.G.R. n° 1530/03.*

Gli *"Indirizzi operativi per l'applicazione della nuova disciplina sulle discariche di rifiuti di cui al D.Lgs. 36/03 e al D.M. 13/03/03"* emanati dalla R.E.R. impongono lo sviluppo di una metodologia di valutazione del rischio. Tale valutazione viene condotta con l'applicazione di due modelli, di tipo numerico quali-quantitativo, semplificato, che tengono conto della stratigrafia sopra indicata nel caso di flusso unidimensionale.

I modelli fanno riferimento alla velocità di filtrazione del flusso diretto verso i due obiettivi rappresentati dagli strati più vulnerabili. Il primo obiettivo considerato è lo strato limo sabbioso debolmente argilloso con livello della falda riscontrato ad una quota variabile, in funzione del periodo dell'anno considerato e della localizzazione del sondaggio effettuato, da 1,70 m a 4,20 m dal p.d.c. .
Il secondo obiettivo è rappresentato dall'acquifero, rilevato ad una profondità media di 10 metri dal piano di campagna, confinato dallo strato argilloso sovrastante che lo mantiene in pressione e ne impedisce la risalita.

A riprova di quanto affermato si riportano di seguito i litotipi ottenuti durante i sondaggi geognostici:

SONDAGGIO 1

0,00 m ÷ 2,50 m: Argilla grigio – azzurra compatta

2,50 m ÷ 3,30 m: Argilla soffice con livelli di torba

3,30 m ÷ 4,20 m: Argilla compatta

4,20 m ÷ 5,30 m: Limo sabbioso

5,30 m ÷ 8,20 m: Argilla limosa

8,20 m ÷ 9,40 m: Argilla compatta

9,40 m ÷ 10,00 m: Limo sabbioso

10,00 m ÷ 12,00 m: Sabbia medio fine

Nel sondaggio è stato posizionato un tubo piezometrico spinto alla profondità di 10 m che ha fatto registrare alla data 01/12/99 il valore di – 5,20 m.

SONDAGGIO 1a

0,00 m ÷ 4,00 m: Argilla grigio – azzurra con livelli di torba

4,00 m ÷ 5,00 m: Argilla grigio scura compatta

5,00 m ÷ 6,50 m: limo sabbioso

6,50 m ÷ 8,00 m: Argilla compatta

8,00 m ÷ 9,00 m: Argilla plastica

9,00 m ÷ 10,00 m: Limo sabbioso

10,00 m ÷ 24,50 m: Sabbia medio fine

24,00 m ÷ 26,00 m: Sabbia medio grossa

Il livello dell'acqua misurato in data 17/11/1997 nel foro di perforazione risulta – 3,00 m dal p.c. .

SONDAGGIO 2

0,00 m ÷ 3,50 m: Argilla debolmente limosa grigio – azzurra

3,50 m ÷ 4,00 m: livello di torba

4,00 m ÷ 6,00 m: Argilla grigia intercalata a decimetrici livelli di argilla limosa

6,00 m ÷ 11,00 m: Argilla grigio scuro

11,00 m ÷ 15,00 m: Limo sabbioso grigio

15,00 m ÷ 24,00 m: Sabbia medio fine grigia

24,00 m ÷ 26,00 m: Sabbia medio grossa

Il livello dell'acqua misurato in data 17/11/1997 nel foro di perforazione risulta essere –2,00 m dal p.c.

Gli strati a protezione delle acque sottostanti il fondo di discarica possono essere ricondotti a strati aventi diverse caratteristiche litologiche e meccaniche, in generale:

- in superficie, immediatamente al di sotto del terreno vegetale, si riscontrano argille limose e argille compattate;
- fanno seguito, da 1,5 m di profondità, argille soffici o debolmente compatte;
- a 5,20 metri di profondità si rinviene, in alcune prove, uno strato di limi sabbiosi dello spessore medio di circa 40 cm;
- seguono nuovamente argille da soffici a poco compatte;
- dalla profondità media di 9,00 m iniziano sabbie sciolte passanti a sabbie addensate ad una profondità di 12 m.

Sviluppo dei due modelli per la valutazione quali-quantitativa del rischio.

Nel caso in esame si è provveduto a sviluppare una analisi, di tipo semplificato, esaminando il flusso monodimensionale che caratterizza la possibile diffusione del percolato negli strati profondi. Il fenomeno sarà descritto applicando solo valutazioni di tipo fisico, quale il moto di filtrazione negli strati insaturi presenti, senza considerare anche aspetti idrochimici, di difficile modellazione e di ordine inferiore rispetto al fenomeno indagato.

1° Modello: Applicazione della Legge di Darcy

Per la prima modellazione si ipotizza un flusso costante laminare di tipo darciano, con direzione unidimensionale verticale. Quando, come nel nostro caso, il moto è di tipo laminare[1], la velocità del flusso attraverso un mezzo poroso può essere legata al gradiente idraulico tramite la Legge di Darcy (1856):

$$v = k * i \qquad (1)$$

in cui:

v velocità effettiva del flusso unidirezionale nel mezzo poroso [m/s]

k coefficiente di permeabilità del mezzo poroso

i gradiente idraulico

Il gradiente idraulico "i" è definito con il rapporto:

$$i = \frac{\Delta h}{L} \qquad (2)$$

Δh perdita di carico piezometrico

L lunghezza del tratto in cui si verifica la perdita di carico piezometrico

[1] Il moto si intende laminare quando avviene in maniera regolare, senza interruzioni dei filetti che rimangono sempre omogenei e sono solamente deformati per le deviazioni dei granuli.

Il tempo necessario per attraversare interamente uno strato di spessore "s" viene calcolato con il rapporto:

$$t = \frac{s}{n * v} \qquad (3)$$

t tempo per raggiungere, nel nostro caso, gli strati sottostanti meno impermeabili [s]

s spessore dello strato in oggetto [m]

n porosità del materiale considerato.

Considerando che la sezione dei vari canali all'interno di un campione di terreno è continuamente variabile, e che tali canali non hanno un andamento lineare, l'equazione di Darcy ha il significato di una rappresentazione statica delle condizioni di flusso nel terreno, con due importanti implicazioni:

- la velocità che compare al denominatore nella formula (3) è la *velocità effettiva*; in realtà come denominatore si dovrebbe utilizzare la *velocità media apparente* (t=s/v), perché la quantità di flusso è riferita alla sezione complessiva e non soltanto a quella dei vuoti. La *velocità effettiva* è maggiore della *velocità apparente* ed è cautelativo utilizzarla nel calcolo del tempo impiegato da un generico contaminante per raggiungere gli obiettivi individuati;
- l'equazione (1) ingloba implicitamente effetti di viscosità ed attrito interno, e permette perciò di trattare il moto di filtrazione senza dover tenere conto in modo esplicito di tali effetti.

Si è proceduto con la risoluzione delle formule precedenti nelle due situazioni corrispondenti allo stato costruito ed a quello indicato dalla norma. Nello specifico, assunta la colonna stratigrafia rilevata nel sondaggio 1, si è determinato il tempo che l'inquinante impiegherebbe a raggiungere gli obiettivi posti rispettivamente a 3,20 m ed a 9,00 m dalla quota del fondo invaso.

Rispetto a quanto indicato nella relazione geologica già citata si sottolinea che:

☒ la barriera di confinamento presa a riferimento è quella richiesta dai criteri costruttivi del D.Lgs. 36/03 che impone la presenza di uno strato minerale compattato con spessore di almeno 100 cm e permeabilità $k < 10^{-9}$ m/s e di una geomembrana impermeabile in hdpe, assunta per i conteggi con spessore di 2 mm e $k=6*10^{-13}$ m/s.

☒ barriera di confinamento presente sul fondo si compone dei seguenti litostrati:

- 0÷1,50 m di Argilla grigio – azzurra compatta: $k= 8,13 * 10^{-11}$ m/s, porosità = 0,427 (il sovrastante strato di 1 m, sempre di argilla grigio azzurra compatta, è stato asportato durante la fase di approntamento dell'invaso per garantire al fondo una adeguata morfologia)
- 1,50÷3,20 m Argilla grigio – azzurra: $k= 1,49 * 10^{-10}$ m/s, porosità = 0,585

- 3,20÷4,30 m Limo sabbioso, debolmente argilloso: k= 1,7 * 10^{-9} m/s, porosità = 0,462
- 4,30÷7,20 m Argilla limosa debolmente sabbiosa: k= 1,37 * 10^{-9} m/s, porosità = 0,462
- 7,20÷8,40 m Argilla grigio azzurra: k= 3,69 * 10^{-10} m/s, porosità = 0,404

Considerando il primo obiettivo, ovvero lo strato limo sabbioso posto a 3,20 m di profondità rispetto al fondo della discarica:

- la barriera naturale presente al di sotto del fondo invaso della discarica, ad oggi esaurita, garantisce una resistenza pari a 488 anni;
- la barriera conforme alla norma viene invece attraversata in 416 anni.

Nel caso del secondo obiettivo presente alla quota di circa 9 m rispetto al fondo discarica, rappresentato inizialmente da uno strato Limo-sabbioso grigio e più in profondità da Sabbia medio-fine, sede della falda confinata si sono ottenuti:

- la barriera naturale sarà attraversata in 570 anni;
- se fosse possibile adeguare la barriera come indicato nel D.Lgs. 36/03 essa sarebbe attraversata in 498 anni.

D.Lgs. 36/03		
geomembrana da 2mm	spessore = 0,002 m	K = 6*10^{-13} m/s
strato minerale compattato della barriera di confinamento	spessore <= 1 m	K < 1*10^{-9} m/s
barriera geologica	spessore <= 1 m	K < 1*10^{-9} m/s

	spessore (m)	permeabilità (m/s)	tempo per attraversare lo spessore (s)
geomembrana	0,002	6E-13	105,70
barriera di confinamento	1	0,000000001	6,34
Argilla grigio azzurra	0,5	8,13E-11	92,05
Argilla grigio azzurra presenza di centimetrici livelli di torba marrone	1,7	1,49E-10	211,65
Limo sabbioso debolmente a	1,1	1,7E-09	9,48
Argilla limosa debolmente sabbiosa presenza di frustoli torbosi	2,9	1,37E-09	31,01
Argilla grigio-azzurra	1,2	3,69E-10	41,66
anni necessari per attraversare lo strato in modo unidimensionale			497,89

Barriera geologica e di confinamento		
geomembrana da 2mm	spessore = 0,002 m	K = 6*10^{-13} m/s
strato minerale compattato della barriera di confinamento	spessore <= 1 m	K < 1*10^{-9} m/s
barriera geologica	spessore <= 1 m	K < 1*10^{-9} m/s

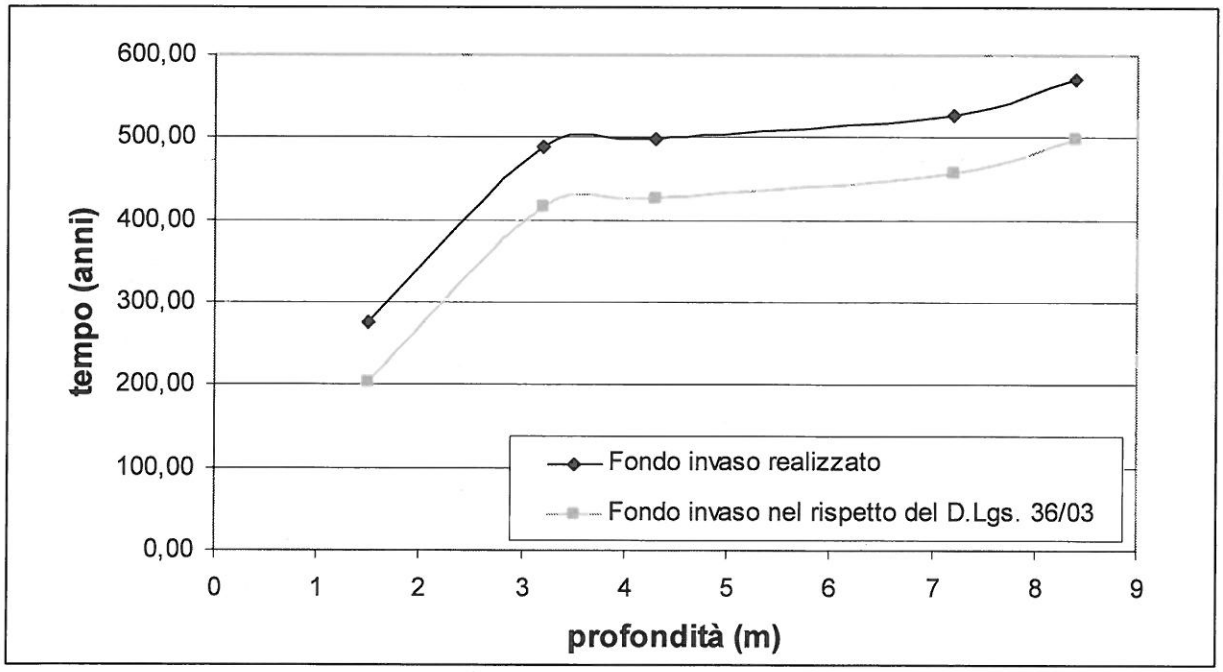
	spessore (m)	permeabilità (m/s)	tempo per attraversare lo spessore (s)
geomembrana	0	6E-13	0,00
barriera di confinamento	1	8,13E-11	184,10
Argilla grigio azzurra	0,5	8,13E-11	92,05
Argilla grigio azzurra presenza di centimetrici livelli di torba marrone	1,7	1,49E-10	211,65
Limo sabbioso debolmente	1,1	1,7E-09	9,48
Argilla limosa debolmente sabbiosa presenza di frustoli torbosi	2,9	1,37E-09	31,01
Argilla grigio-azzurra	1,2	3,69E-10	41,66
anni necessari per attraversare lo strato in modo unidimensionale			569,94

Utilizzando il modello di Darcy, il tempo impiegato del flusso unidirezionale, per raggiungere gli obiettivi sottostanti, è maggiore nel caso dello stato attuale. Questo risultato è chiaramente da attribuire alla sostituzione degli strati superficiali naturali, con coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-11} m/s, con la membrana in hdpe (coefficiente di permeabilità $k = 10^{-13}$ m/s e spessore 0,002 m ed 1,00 m di terreno con $k = 10^{-9}$ m/s.

Si puntualizza che, nella scelta dei parametri da utilizzare nei calcoli sopra sviluppati, si sono assunti valori cautelativi rispetto a quelli realmente presenti nella barriera di confinamento posta a protezione delle zone sottostanti la discarica:

1. il primo strato della barriera presente sul fondo della discarica è stato realizzato in terre argillose e argille-limose scelte, provenienti dagli scavi operati nell'area, compattate seguendo le procedure già illustrate nel Piano di Adeguamento presentato alla Provincia di Modena in data 27 settembre 2003;
2. allo strato limo sabbioso, posto alla profondità di 3,20 m, è stato assegnato il del coefficiente di permeabilità peggiore riscontrato durante la serie di sondaggi condotti;
3. è stata utilizzata la velocità effettiva e non quella apparente per le motivazioni sopra indicate.

Applicando i coefficienti di permeabilità rilevati alle varie profondità sopra indicate, il tempo impiegato a raggiungere l'obiettivo viene descritto nel seguente grafico.



2° Modello: Applicazione della Legge di Fick

Nella seconda modellazione è stata valuta, attraverso la Legge di Fick, la diffusione molecolare del liquido definita come: meccanismo molecolare, causato da fenomeni di diffusione e di dispersione idrodinamica, che tende ad annullare la differenza di concentrazione delle soluzioni acquose nei sistemi porosi.

La diffusione è un processo per cui alcuni costituenti, in forma ionica o molecolare, si muovono sotto l'influenza della loro attività cinetica nella direzione del loro gradiente. La diffusione termina solo quando il loro gradiente di concentrazione si annulla cioè quando la soluzione (rappresentata dal percolato nel caso in esame) si trova alla medesima concentrazione in ogni punto. La massa della sostanza soggetta alla diffusione, che passa attraverso una superficie unitaria nell'unità di tempo, è proporzionale alla concentrazione secondo la formula:

$$F = \frac{D * C}{s}$$

F flusso diffusivo [$m^3/s * m^2$]

D coefficiente di diffusione molecolare nel mezzo poroso [m2/s]

s spessore della sezione considerata [m]

C concentrazione della soluzione che fluisce attraverso il mezzo poroso

$$v = \frac{F}{n}$$

n porosità del mezzo poroso

v velocità del flusso [m/s]

$$t = \frac{s}{v}$$

t tempo per raggiungere, nel nostro caso, gli strati a minore impermeabilità [anni]

s spessore della sezione considerata [m]

Per la risoluzione delle formule è stata assunta una concentrazione del fluido unitaria mentre, i valori della porosità e gli spessori inseriti nelle formule sono gli stessi già riportati per il primo modello.

Anche per questo modello, come per il precedente, sono state valutate le due situazioni corrispondenti al fondo nella configurazione attuale ed a quello conforme a quanto indicato al punto 2.4 del D.Lgs. 36/03.

Supponendo nel caso del primo obiettivo una infiltrazione di percolato, lo strato limo sabbioso posto a 3,20 m di profondità, rispetto al fondo della discarica, sarebbe raggiunto:

- in 174 anni, nel caso della situazione attuale ovvero con la presenza della sola barriera naturale impermeabile;
- in 221 anni, se il fondo fosse adeguato ponendo sullo strato naturale la geomembrana in hdpe ed il metro di terra naturale compattata con k di $1*10^{-9}$.

Nel caso del secondo obiettivo presente alla quota di circa 9 m rispetto al fondo discarica, ed ospitante la falda in pressione:

- la barriera naturale sarebbe attraversata in 458 anni;
- invece, se fosse possibile adeguare la barriera come indicato nel D.Lgs. 36/03, essa sarebbe attraversata in 505 anni.

In buona sostanza entrambi i modelli utilizzati evidenziano, se ce ne fosse bisogno, la bontà delle soluzioni finora adottate per la realizzazione del fondo invaso e delle scarpate della discarica, con risultati che sono paragonabili a quelli richiesti dall'attuale norma, certamente più restrittiva di quella vigente all'atto della costituzione e gestione delle porzione di discarica esaurita.

La presente relazione attesta quindi l'equivalenza tra le caratteristiche del fondo dei quattro lotti, già realizzati ed in parte in coltivazione, alle specifiche tecniche previste dal D.Lgs. 36/03.

Ing. Stefano Teneggi