

RELAZIONE GEOTECNICA

Copia relazione geotecnica redatta per il
Progetto esecutivo della vasca 2C anno 2003

1. PREMESSA

La presente relazione, riguarda il progetto definitivo di discarica di 2a categoria tipo C per rifiuti contenenti amianto da realizzare in Comune di Casale Monferrato. Viene redatta in conformità con quanto previsto dal D.M. LL.PP. 11 marzo 1998 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

La relazione riporta:

- a) caratteristiche geotecniche del terreno in sito,
- b) verifiche di stabilità dei fianchi della discarica,
- c) modalità di realizzazione dei rilevati perimetrali,
- d) considerazioni su eventuali cedimenti del fondo della discarica,
- e) caratteristiche e modalità di posa in opera dello strato minerale di argilla e bentonite,
- f) caratteristiche dell'inerte drenante,
- g) considerazioni sulla stabilità del terreno di copertura,
- h) controlli in corso d'opera.

2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La caratterizzazione geotecnica del materiale, sviluppata sulla base dei risultati dei sondaggi eseguiti nell'area di intervento (al riguardo si veda la Relazione Geologico - Tecnica del Dott. Cavalli), e sulla base di prove geotecniche di laboratorio eseguite nel 1995 per la discarica di R.S.U. in frazione S. Germano a Casale M., è la seguente:

- un primo strato di circa 2.0 m costituito da "limo debolmente sabbioso";
- un successivo strato di circa 10 m di "ghiaie e sabbie medio grosse";
- uno strato di "ghiaie grossolane e sabbie medio fini" fino a circa 20 m dal piano campagna.

Tale stratigrafia è stata confermata nel corso dei lavori eseguiti per la realizzazione del lotto 1 dell'impianto (vasca di discarica di 2a categoria tipo A ed area servizi).

Non sono state eseguite prove geotecniche specifiche di laboratorio.

I valori dei parametri geotecnici utilizzati per le verifiche di stabilità sono stimati in modo cautelativo sulla base dell'esperienza degli scriventi.

3. VERIFICHE DI STABILITA'

Utilizzando i valori dei parametri geotecnici sopra elencati sono state condotte le verifiche di stabilità previste dal DM. 11/03/1988, simulando le diverse fasi di realizzazione della vasca:

- 1) scarpata in scavo entro terra,
- 2) scarpata generata dallo scavo e dal successivo riporto,
- 3) sponda della discarica impermeabilizzata.

I risultati delle elaborazioni di calcolo, in termini di coefficienti di sicurezza sono congruenti con quanto previsto dal disposto di legge citato ($FS \geq 1.3$).
Risultati e procedura sono esplicitati in Appendice I.

4. COSTRUZIONE DEI RILEVATI PERIMETRALI

Gli argini perimetrali hanno quota topografica del coronamento a +2,00 m dal piano campagna attuale, larghezza del coronamento pari a 3,00 m ed inclinazione della scarpata interna a 2 (verticale): 3 (orizzontale).

Il materiale per la formazione degli argini perimetrali è quello di risulta dagli scavi, a prevalente matrice coesiva, steso e rullato con rullo liscio sino a raggiungere un grado di compattazione superiore al 95 % della densità massima derivante dalla prova Proctor standard ed un modulo di deformazione non inferiore a 600 kg/cm² determinato secondo le norme svizzere SNV 670317.

Il materiale di risulta dagli scavi a prevalente matrice granulare sarà utilizzato per la formazione del cassonetto superficiale sul coronamento dell'argine.

I rilevati dovranno essere eseguiti adottando la seguente procedura:

esecuzione di prove di laboratorio per definire le caratteristiche ottimali di compattazione del materiale;

- stesa del materiale inerte proveniente dagli scavi di sbancamento, in strati di spessore pari a 50-60 cm, prima della compattazione;
- rullatura del materiale con rullo liscio non vibrante di peso 10 t con numero di passate non inferiore a 10, velocità non superiore a 3 km/ora, sino a determinare uno spessore dello strato compattato pari a 40 cm;
- erpicatura delle superfici di separazione fra gli strati, in modo da creare il collegamento fra uno strato ed il successivo;
- riprofilatura con escavatore della scarpata del rilevato secondo i profili dei disegni allegati;
- esecuzione delle prove di controllo descritte nei successivi capitoli.

5. CEDIMENTI DEL FONDO DELLA DISCARICA

Per quanto concerne i cedimenti del fondo della discarica, si evidenziano i seguenti elementi:

- a) il sottosuolo dell'area di discarica non presenta, sino a 20 m di profondità, lenti di materiale coesivo suscettibile di cedimenti uniformi e/o differenziati nel tempo;
- b) il carico indotto dal rifiuto smaltito, considerando lo spessore di materiale previsto ed il peso di volume dello stesso, è compatibile con le caratteristiche di resistenza del materiale alluvionale del sottosuolo; in particolare il peso specifico del materiale abbancato entro terra, rispetto al piano campagna attuale è inferiore al peso specifico del materiale in posto, mentre il sovraccarico indotto dall'innalzamento dall'abbancamento del rifiuto fuori terra, compreso lo strato di copertura finale è calcolato in $0,375 \text{ kg/cm}^2$.

In conclusione la realizzazione dell'intervento: scavo, impermeabilizzazione, smaltimento rifiuti e ricoprimento, non comporta cedimenti del fondo del piano di appoggio della discarica.

6. POSA IN OPERA DELLO STRATO IMPERMEABILIZZANTE DI FONDO E DEI FIANCHI

Lo strato impermeabilizzante sul fondo e sui fianchi della discarica è costituito da una miscela di limo-argilloso e bentonite.

Il limo-argilloso, proveniente dagli scavi o da cava di prestito dovrà essere preliminarmente qualificato attraverso prove di laboratorio.

Le caratteristiche del materiale limo-argilloso dovranno essere le seguenti:

- contenuto in argilla: superiore al 10% in peso,
- passante al setaccio 200 ASTM: superiore al 30%,
- limite di liquidità: compreso fra 25 % e 50%,
- indice di plasticità: compreso fra 10% e 30%,
- contenuto in ghiaia: inferiore al 40% in peso,
- massima dimensione degli elementi lapidei: 2,5 cm.

Il materiale dovrà essere privo di qualsiasi materia estranea quali terreno organico, piante, radici ecc.

La bentonite, di tipo sadico, dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- limite di liquidità: superiore a 350%
- indice di plasticità: superiore a 300%
- rigonfiamento: superiore a 16 ml/2g

Attraverso prove di laboratorio dovranno essere definite le caratteristiche ottimali della miscela limo-argilloso-bentonite per ottenere valori di permeabilità superiori a 10^{-9} cm/s determinato con prove triassiali a pressioni di confinamento confrontabili con quelle che si verificheranno in sito.

Al valore di permeabilità di 10^{-9} cm/s determinato in laboratorio, dovrà corrispondere un valore di permeabilità in sito di 10^{-8} cm/s.

In dettaglio le prove di laboratorio dovranno definire:

percentuale in peso di bentonite,

- umidità,
- densità secca,
- permeabilità.

La posa in opera dello strato impermeabilizzante dovrà avvenire attraverso la seguente procedura:

-
- rullatura del fondo con rullo liscio vibrante di peso non inferiore a 6 t, aggotamento di eventuali ristagni di acqua,
 - stesa di uno strato di terreno naturale limo-argilloso in quantità sufficiente ad assicurare uno spessore compattato di 40 cm per il primo strato e di 30 cm per i due strati successivi,
 - distribuzione sul terreno di bentonite nelle quantità determinate in base ai risultati delle prove di laboratorio con utilizzo di idoneo attrezzo tipo spandisale o spandiconcime,
 - miscelazione della bentonite nell'argilla tramite vangatrice agricola che consente anche la riduzione della pezzatura delle zolle alla dimensione di qualche cm,
 - compattazione dello strato dapprima con rullo statico a "piede di pecora" o a "piastra" e poi con rullo statico liscio di peso non inferiore a 6 t su un tamburo solo, con numero di passate non inferiore a 8 e velocità non superiore a 3 km/ora,
 - esecuzione su ciascuno strato di prove di permeabilità in sito (con permeametro tipo Boutwell) e di densità,
 - esecuzione di prove di permeabilità in laboratorio sui campioni di materiale prelevati per la determinazione della densità in sito,
 - collegamento fra gli strati successivi con leggera erpicatura della superficie compattata.

L'impermeabilizzazione del fondo vasca avrà spessore complessivo di 100 cm e sarà costituita da tre strati di spessore rispettivamente 40 cm, 30 cm, 30 cm; la permeabilità in sito derivata dalle prove con permeametro tipo Boutwell non dovrà essere superiore a 10^{-8} cm/s.

Per le scarpate la stesura del materiale dovrà avvenire su strati orizzontali di spessore 40 cm partendo dalla base della discarica fino alla sommità del rilevato larghi 3,00m.

Dopo la posa e la compattazione dell'ultimo strato verrà eseguita la riprofilatura della scarpata.

Le prove di permeabilità in sito ed in laboratorio verranno realizzate anche sugli strati orizzontali di sponda.

7. INERTE DRENANTE

Il materiale drenante, da porre in opera sul sistema di impermeabilizzazione, dovrà garantire una permeabilità minima di 10^{-2} cm/s e avere le seguenti caratteristiche minime:

- contenuto di fine (passante al vaglio 200 ASTM) inferiore al 5 %;
- dimensioni dei grani non superiori a 30 mm;
- contenuto di carbonati inferiore al 5% .

Il coefficiente di permeabilità sarà verificato sia in modo indiretto, con analisi granulometriche, che in sito.

Le caratteristiche qualitative del materiale verranno controllate nella misura minima di una serie di prove (analisi granulometrica e determinazione del contenuto di carbonati) ogni 500 m³ di materiale utilizzato.

Lo strato drenante avrà spessore complessivo pari a 60 cm, essendo formato da due strati di 20 e 40 cm separati da una geomembrana e da un geotessuto.

Data la delicatezza e l'importanza legata all'integrità fisica della geomembrana sottostante, occorrerà porre particolare attenzione alla metodologia di posa dello strato in esame. La messa in opera del materiale dovrà avvenire in avanzamento, per evitare il passaggio di mezzi operativi direttamente sulla geomembrana. Lo strato drenante non dovrà essere rullato.

8. FORNITURA E POSA DEL TERRENO IMPERMEABILE DI COPERTURA

Il terreno inerte da porre in opera sulla geomembrana in HDPE deve essere limo-argilloso con caratteristiche geotecniche uguali a quello previsto per lo strato impermeabilizzante sul fondo e sui fianchi della discarica.

La posa in opera deve avvenire per strati soffici di spessore 40 cm, compattati di spessore 30 cm.

La posa deve avvenire con terna gommata di ridotte dimensioni.

La compattazione deve avvenire con rullo liscio di ridotte dimensioni.

Il collegamento fra primo e secondo strato deve avvenire previa erpicatura/irruvidimento della superficie di separazione.

9. STABILITA' DELLA COPERTURA DELLA DISCARICA

La superficie inviluppo del rifiuto smaltiti negli appositi contenitori (big - bags) ha una pendenza massima del 15% (8,5°), assolutamente cautelativa rispetto alla stabilità della stessa ed alle modalità di abbancamento dei contenitori.

Gli strati di terreno ed i materiali artificiali di copertura sono posti in opera con superficie parallela alla superficie inviluppo sopra descritta.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura (terreno coesivo limo argilloso e terreno vegetale) e le caratteristiche delle interfacce fra materiali artificiali e terreni di copertura sono ampiamente compatibili con la pendenza massima del 15%.

Si riportano, a tale riguardo i valori di resistenza all'interfaccia per diverse tipologie di materiali:

argilla - geomembrana liscia: angolo di attrito = 9 °

argilla - geomembrana strutturata: angolo di attrito = 13 °

argilla - geocomposito drenante: angolo di attrito = 44°

terreno: angolo di attrito 25 ° coesione 10 kPa.

Nel caso specifico si utilizza la geomembrana strutturata per aumentare la resistenza allo scivolamento fra geomembrana e soprastante argilla.

9. CONTROLLI IN CORSO D'OPERA

I controlli geotecnici in corso d'opera riguardano i seguenti ambiti:

1. costruzione dei rilevati,
2. sistema di impermeabilizzazione con miscela di inerte limo-argilloso e bentonite,
3. sistema di drenaggio del percolato.

9.1 Costruzione dei rilevati

Il controllo dell'efficacia delle operazioni di compattazione dei rilevati verrà eseguita attraverso prove di carico su piastra eseguite in ottemperanza alla norma svizzera SNV 670317 ed attraverso prove di densità in sito e prove di laboratorio per determinare i valori dei parametri caratteristici della Proctor standard.

In particolare si prevedono per ogni strato:

- n. 5 prove di carico su piastra,
- n. 5 prove di densità in sito,
- n. 5 determinazioni di umidità in laboratorio.

Le prove si considerano soddisfacenti se forniranno un valore del modulo elastico in corrispondenza di ciascuno strato, non inferiore a 600 kg/cm^2 e se il grado di compattazione (densità secca) non sarà inferiore al 95 % della densità massima della prova Proctor standard con umidità inferiore all'"ottimo".

9.2 Sistema di impermeabilizzazione del fondo e dei fianchi

Sul piano di fondo della discarica, prima della realizzazione del sistema di impermeabilizzazione, si eseguiranno n. 6 prove di carico su piastra come prima definite: in dettaglio si eseguiranno n. 2 prove per ciascuno dei tre settori in cui la vasca verrà suddivisa.

Il controllo delle caratteristiche impermeabilizzanti del fondo e dei fianchi della discarica avverrà mediante prove di permeabilità in sito con permeametro Boutwell, di densità in sito, di permeabilità in laboratorio e di determinazione dell'umidità in laboratorio:

- sul fondo vasca n. 9 prove per ciascuna delle tipologie sopra definite (tre per ogni strato),
- sulle pareti della vasca n. 12 prove per ciascuna delle tipologie sopra definite (due sulle sponde nord-est e sud-ovest, quattro sulle sponde ovest ed est).

Le prove di permeabilità in laboratorio avverranno su provini ricavati da campioni indisturbati (campioni cubici o tramite fustella cilindrica).

Le prove di permeabilità in laboratorio saranno prove a carico costante (ASTM D2434); i campioni verranno sottoposti ad una pressione isotropa di 8090 kPa e ad una pressione di filtrazione applicata alla base del provino di 50- 60 kPa.

I limiti di riferimento per l'accettazione dei risultati delle prove sono:

- a) $< 10^{-8}$ cm/s da prove Boutwell,
- b) $< 10^{-9}$ cm/s da prove di laboratorio.

9.3 Controlli sull'argilla di copertura

I controlli sull'argilla da utilizzare per lo strato di copertura comprenderanno:

-sul materiale prima della posa in opera: 3 prove granulometriche, n. 3 aerometrie, n. 3 determinazione dei limiti di Atterberg

-sul materiale posto in opera: n. 3 determinazioni di densità ed umidità, n. 3 prove di permeabilità su campioni indisturbati prelevati sul materiale steso e compattato.

APPENDICE 1

Analisi di stabilità

A1.1 PREMESSA

Nel seguito vengono illustrate alcune analisi di stabilità utilizzate per il progetto definitivo della discarica controllata per materiali contenenti amianto del comune di Casale Monferrato.

Sono state eseguite verifiche di stabilità delle pareti dopo lo scavo delle vasche 2A e 2C e dopo la realizzazione del rilevato. E' stata inoltre eseguita una verifica della vasca 2C dopo la posa dello strato di argilla.

A1.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI RIFERIMENTO

Per le analisi in oggetto sono stati considerati i seguenti materiali e le seguenti caratteristiche semplificate:

- strato di terreno limo (sabbioso)
 - $\phi' = \text{angolo di resistenza al taglio} = 25^\circ$
 - $c' = \text{coesione apparente} = 5 \text{ kPa}$
 - $\gamma = \text{peso di volume} = 18 \text{ kN/m}^3$

- materiale utilizzato per il rilevato
 - $\phi = \text{angolo di resistenza al taglio} = 30^\circ$
 - $c' = \text{coesione apparente} = 3 \text{ kPa}$
 - $\gamma = \text{peso di volume} = 17 \text{ kN/ m}^3$

- argilla di impermeabilizzazione (vasca 2C)
 - $\phi' = \text{angolo di resistenza al taglio} = 25^\circ$
 - $c' = \text{coesione apparente} = 3 \text{ kPa}$
 - $\gamma = \text{peso di volume} = 17 \text{ kN/ m}^3$

Inoltre è stata considerata un'altezza di falda di -3 m rispetto al piano campagna.

A1.3 METODI DI CALCOLO

Le analisi di stabilità sono state eseguite utilizzando i metodi dell'equilibrio limite, ed in particolare il metodo di Bishop, che utilizza superfici di scivolamento circolari.

Per l'esecuzione delle analisi è stato utilizzato il programma di calcolo PCSTABL5, sviluppato dalla Purdue University. Al termine dell'appendice è riportato, a titolo di esempio, lo schema di calcolo utilizzato dal programma per la verifica di stabilità della vasca 2A.

A1.4 STABILITA' DELLO SCAVO

Si è verificata la stabilità dello scavo delle vasche 2A e 2C con riferimento alla geometria riportata rispettivamente nella Figura 1 e nella Figura 2. Dalle analisi eseguite risultano i seguenti coefficienti di sicurezza:

- vasca 2A FS = 2.079
- vasca 2C FS = 1.575

I coefficienti di sicurezza risultano quindi superiori ai limiti imposti dalla vigente normativa italiana ($FS > 1.3$).

A1.5 STABILITA' DELLO SCAVO E DEL RILEVATO

Si è verificata la stabilità delle pareti delle vasche 2A e 2C, dopo la realizzazione del rilevato, con riferimento alla geometria riportata rispettivamente nella Figura 3 e nella Figura 4. Dalle analisi eseguite risultano i seguenti coefficienti di sicurezza:

- vasca 2A e rilevato FS = 1.587
- vasca 2C e rilevato FS = 1.488

I coefficienti di sicurezza risultano quindi superiori ai limiti imposti dalla vigente normativa italiana ($FS > 1.3$).

A1.6 STABILITA' DELLA VASCA 2C DOPO LA POSA DELLO STRATO DI ARGILLA

Si è verificata la stabilità delle pareti della vasca 2C, dopo la posa dello strato di argilla, con riferimento alla geometria riportata rispettivamente nella Figura 5. Dalle analisi eseguite risulta il seguente coefficiente di sicurezza:

- vasca 2C e strato di argilla $FS = 1.565$

I coefficienti di sicurezza risultano quindi superiori ai limiti imposti dalla vigente normativa italiana ($FS \geq 1.3$).