SOMMARIO

pag.

0. PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI ……..... 3

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E ASSETTO GEOMORFOLOGICO…….. 4

2. ASSETTO IDROGRAFICO E CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE..…… 5

3. MODELLO STRATIGRAFICO E GEOLOGICO-TECNICO DELL'AREA…..…. 6

3.1 INDAGINI GEOLOGICHE STRUTTURALI…… **6**

3.2 INDAGINI GEOFISICHE …… **7**

3.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE …….. **8**

3.4 SEZIONI GEOLOGICO – STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE…….…… **9**

4. MODELLO IDROGEOLOGICO DELL'AREA……..…. 10

4.1 CONSIDERAZIONI SULLA PERMEABILITA' DEI TERRENI…… **10**

4.2 MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE …… **12**

5. INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DELLE CRITICITA'…… 13

5.1 OPERE DI CONTROLLO DELLE ACQUE SOTTERRANEE…… **13**

5.2 SOLUZIONI PER L'IMPERMEABILIZZAZIONE DELL'AREA…….. **15**

6. VERIFICHE DI STABILITA'…… 18

6.1 CONSIDERAZIONE SUI PARAMETRI GEOTECNICI…….…….. **19**

6.2 INQUADRAMENTO SISMICO…….…….. **20**

6.3 RISULTATI E OSSERVAZIONI…….…….. **21**

7. CONCLUSIONI…….. 22

ALLEGATO 1 – FIGURE E CARTOGRAFIE

Figura n°	Oggetto
1	Corografia
2	Carta geologica - geomorfologica
3	Carta rilievo geologico - strutturale
4	Analisi strutturale dell'ammasso roccioso
5	Tabella valori analisi strutturale
6	Carta dello spessore delle coltri - Momento zero
7	Carta delle indagini
8	Sovrapposizione delle indagini geofisiche
9	Sondaggio S1
10	Sondaggio S2
11	Sezione geologica 1 stato attuale
12	Sezione geologica 4 stato attuale
13	Inviluppo a rottura ammasso roccioso
14	Carta idrogeologica
15	Parametri metereologici - idrici
16	Monitoraggi idrogeologici
17	Profondità livelli di falda rilevati
18	Carta degli spessori delle coltri e della prondità dell'acqua
19	Interventi mitigazione circolazione idrica
20	Schema rappresentativo barriera di fondo
21	Schema rappresentativo barriera di parete
22	Schema rappresentativo della copertura superficiale

ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO 3 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

ALLEGATO 4 – VERIFICHE DI STABILITA'

0. PREMESSA E RIFERIMENTI NORMATIVI

Il presente documento riporta le risultanze delle indagini geologiche a supporto del progetto di ampliamento della discarica esistente in località Rio Marsiglia nel Comune di Uscio (GE) redatte ai sensi del D.Lgs. 36/2003 e delle indicazioni contenute nella legge Regionale n. 38/98 e relativi allegati tecnici.

Il progetto prevede l'ampliamento ed il completamento della discarica per rifiuti solidi urbani esistente in località Rio Marsiglia nel Comune di Uscio, ampliamento che sarà compreso nei limiti recintati dell'impianto ed in posizione immediatamente soprastante alla zona già autorizzata ed in via di completamento.

L'attuale discarica è in esercizio dal 1985 a servizio dei comuni della ex Comunità Montana Fontanabuona ed è oggi gestito dal Consorzio Intercomunale di Rio Marsiglia. L'ampliamento pertanto si inserisce in un'area in continuità con un impianto di RSU già esistente e pertanto i contenuti delle presenti indagini per l'inquadramento geologico generale faranno anche riferimento alle indagini svolte da altri tecnici abilitati nell'ambito del progetto della discarica esistente.

La presente relazione è finalizzata in particolare a:

- definire la situazione geologica ed idrogeologica presente nell'area oggetto di ampliamento della discarica
- indicare gli interventi e le soluzioni tecniche inerenti la regimazione delle acque sotterranee e l'impermeabilizzazione dell'area su cui insisterà il volume di rifiuti previsti a progetto
- verificare la stabilità complessiva e locale della configurazione finale prevista per l'area occupata dalla discarica, ai sensi delle D.M. 14.01.2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni e alla relativa circolare n. 167 del 02.02.2009, con particolare riguardo all'interazione tra il volume di rifiuti a progetto e quello sottostante, il cui conferimento in discarica è in atto, su cui appoggerà in parte dell'ampliamento previsto.

In considerazione degli aspetti rilevanti che necessitano una caratterizzazione oggettiva e delle condizioni al contorno, le attività svolte possono essere schematizzate come segue:

- sopralluoghi preliminari, necessari per prendere visione dello stato dei luoghi e raccolta di tutta la documentazione occorrente;
- analisi bibliografica e cartografica, delle relazioni tecniche e geologiche inerenti al progetto di discarica già autorizzato e alle successive integrazioni;
- esame della cartografia tematica relativa al Piano di Bacino del Torrente Lavagna;
- rilevamento di dettaglio in situ al fine di accertare le caratteristiche geologico-strutturali, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area oggetto di intervento;
- esecuzione di n°2 prove di permeabilità in situ mediante prove a carico variabile in pozzetti superficiali;

- esecuzione di n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con recupero di materiale, prelevamento di campioni per analisi di laboratorio e installazione di piezometri fessurati;
- esecuzione di n°3 profili sismici a rifrazione a 24 canali;
- esecuzione di n°2 profili geoelettrici da 48 elettrodi con l'applicazione di differenti metodologie di acquisizione;
- esecuzione di monitoraggio piezometrico dei 2 piezometri di nuova realizzazione e dei pozzi già esistenti nell'area per il periodo marzo - giugno 2012;
- rielaborazione di quanto emerso dalle indagini e redazione di modelli geologici, geotecnici ed idrogeologici;
- analisi e scelta delle soluzioni di mitigazione delle criticità;
- analisi di stabilità della configurazione a progetto con indicazione delle caratteristriche minime da utilizzare nelle scelte progettuali per garantire la sicurezza dell'impianto;
- redazione della presente relazione tecnica con indicazioni operative.

L'area in oggetto è individuabile nella C.T.R. scala 1:5000 elemento 214141 Lumarzo, di cui si allega uno stralcio (FIGURA 1) e utilizzato per la redazione della carta geologico-geomorfologica con elementi strutturali (FIGURA 2).

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'area in esame è ubicata nella parte sommitale della valle del Rio Marsiglia in corrispondenza del settore di versante denominato *Ronca d'Abramo*, in orografica destra del T. Lavagna ad una quota compresa tra di circa 305 m s.l.m. e 330 m s.l.m. (FIGURA 1 e FIGURA 3).
Dal punto di vista geologico tutta l'area di interesse è caratterizzata dalla presenza di argilliti emipelagiche nere ferromanganesifere con intercalazioni di arenarie torbiditiche quarzose fini in strati da sottili a medi (FIGURA 2): in accordo con la cartografia ufficiale (Carta Geologica con elementi di Geomorfologia tav. n. 214.3 – Bargagli scala 1:25.000) di cui si allega uno stralcio (FIGURA 2b) il substrato è riconducibile ai litotipi appartenenti al Gruppo degli Scisti della Val Lavagna, qui rappresentato dalle Argilliti di Montanesi.

Sotto il profilo della conservazione, il litotipo si presenta alterato in superficie, con frequenti fenomeni di fratturazione e di suddivisione in elementi prismatici secondo piani di frattura ortogonali alla scistosità e alla stratificazione.

Alla luce del rilevamento di dettaglio (FIGURA 3) la disposizione strutturale dell'ammasso roccioso è sostanzialmente a franapoggio rispetto al versante che delimita a nord l'area mentre risulta a traverpoggio rispetto al versante che delimita a monte il settore sud-occidentale. L'immersione della stratificazione è verso Sud con inclinazione variabile mediamente tra tra 15° e 60° sul piano orizzontale.

La presenza di lineamenti tettonici e fratture che caratterizzano l'ammasso roccioso è stata rilevata sia attraverso l'analisi di fotogeologiche che durante un accurato rilevamento di terreno: i risultati (FIGURA 3, 4 e 5) mostrano oltre alla presenza della stratificazione

dell'argilloscisto anche due famiglie di fratture che creano superfici di discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso.

Dal punto di vista geomorfologico l'area è caratterizzata della presenza di coltri detritiche notevoli spessore che tuttavia sono già state e saranno oggetto di scavi finalizzati al recupero di materiale naturale per le fasi di copertura dei rifiuti abbancati in discarica. La configurazione naturale del versante infatti prevedeva la presenza di accumuli detrtici di spessore localmente superiore a 10m la cui genesi è da associare alla presenza di alto grado di alterazione superficiale evidenziato dalle fratture e lineazione profonde nell'ammasso roccioso. Attualmente, al momento zero del progetto della nuova discarica, sono ancora presenti volumi di coltri detritiche con spessori mediamente inferiori a 4m-6m localmente fino a 8m-10m (FIGURA 2 e 6).

L'acclività dei versanti che delimitano l'area è accentuata (superiore a 50-70%) nel settore nord, mentre risulta più dolce nel settore sud-occidentale dove è mediamente inferiore al 20%.

2. ASSETTO IDROGRAFICO E SCHEMA IDROGEOLOGICO

Lo schema dei deflussi superficiali del settore di versante investigato fa riferimento agli impluvi orientati in direzione circa NE-SW, che delimitano a N e S l'area oggetto di ampliamento della discarica alimentano il Rio Marsiglia a valle. Tali impluvi naturali rappresentano le aste drenanti principali e svolgono azione di raccolta e smaltimento di gran parte delle acque provenienti dal versante.

L'area è marginalmente interessata da fenomeni di ringiovanimento del reticolo idrografico con incassamento dei corsi d'acqua: gli impluvi naturali a monte dell'area in concessione e quindi anche nel settore coinvolto dall'ampliamento della discarica previsto a progetto sono stati in passato oggetto di canalizzazione e deviazione verso i rii principali contornanti l'area di discarica.

Durante il rilevamento è stata individuata la presenza di circolazione idrica sotterranea localizzata lungo direttrici limitate all'interno dell'ammasso roccioso, in corrispondenza delle principali lineazionie fratturazioni di origine tettonica orientate circa NE-SW e N-S.

Per quanto attiene alle caratteristiche idrogeologiche dei terreni descritti in precedenza, si può osservare che:

- i depositi detritici si devono ritenere permeabili per porosità, con coefficienti da medi a bassi, in funzione del fuso granulometrico caratteristico. Tali terreni all'atto delle indagini hano mostrato solo locali e superficiali livelli di saturazione legati all'infiltrazione delle acque meteoriche ma non sono caratterizzate da falde ne libere ne sospese;
- il substrato roccioso è sostanzialmente impermeabile in condizioni d'integrità, ma, in considerazione del grado di fratturazione acquisito, risulta localmente semi-permeabile, in particolare lungo le discontinuità caratteristiche rappresentano la via di circolazione preferenziale: è stato infatti appurato in fase di indagine che l'acqua saturara localmente

le fratture in profondità e riesce a trovare vie di percolazione secondo i rapporti geometrici esistenti tra i giunti caratteristici dell'ammasso roccioso.

Si ritiene pertanto probabile, come è stato anche osservato durante i monitoraggi realizzati nel periodo marzo – giugno 2012, in occasione di periodi caratterizzati da eventi pluviometrici intensi, la presenza di acqua lungo suddette lineazioni all'interno dell'ammasso roccioso, localizzate in "vene" di estensione limitata, presumibilmente inferiore a 2.0m. Durante le fasi di indagini infatti sono state osservate alcune scaturigini di acqua localizzate in corrispondenza del versante nel settore settentrionale e occidentale dell'area (FIGURA14 – FOTO 4). Sono altresì stati osservati ristagni idrici localizzati in alcune zone di coltre superficiale detritica ma si esclude la presenza di falde all'interno dei materiali sciolti proprio per la presenza di un reticolo idrico sviluppato sostanzialmente nel basamento roccioso.

3. MODELLO STRATIGRAFICO E GEOLOGICO-TECNICO DELL'AREA

Come accennato in premessa per la definizione delle caratteristiche geologico stratigrafiche dell'area oggetto di studio le indagini geologiche specialistiche a supporto del progetto di ampliamento della discarica hanno previsto l'applicazione di diversi metodi di indagine tra loro indipendenti. Di seguito sono descritti i principali risultati in termini di dati oggettivamente misurati. Successivamente si è provveduto a sintetizzare tutte le risultanze con la realizzazione di sezioni geologiche rappresentative della situazione geologico-stratigrafica locale e utilizzate insieme ai parametri ottenuti dalle indagini per le verifiche di stabilità della discarica nella configurazione di progetto.

3.1 INDAGINI GEOLOGICHE STRUTTURALI

Le risultanze del rilevamento geologico di dettaglio, con particolare riguardo agli aspetti strutturali e geomeccanici, realizzato nell'ambito del presente studio hanno portato alla individuazione di tre famiglie di superfici che caratterizzano l'ammasso roccioso nel suo complesso. Come riportato nel pannello A di figura 4 e in figura 5, l'orientazione media dei valori giaciturali rilevati durante le indagini ha evidenziato la presenza di:

- superficie di strato con direzione media pari a 110N immersione a sud con inclinazione mediamente tra tra 15° e 60° sul piano orizzontale;
- superficie di frattura G1 con con direzione media pari a 160N immersione non definita in quanto ha inclinazione prossima alla verticale;
- superficie di frattura G2 con con direzione media pari a 70N immersione a nord con inclinazione mediamente tra tra 60° e 80° sul p iano orizzontale.

I dato ottenuti sulla base del rilevamento geologico di superficie si adattano bene a quanto è stato osservato attraverso l'analisi di fotogeologiche consultate presso gli uffici del repertorio cartografico della Regione Liguria. Infatti è stato possibile correlare con un buon grado di accoppiamento le macrofratturazioni rilevate dalle foto aree alla microfratturazionerilevata in campagna durante le indagini in situ.

3.2 INDAGINI GEOFISICHE

Nella posizione indicata in FIGURA 7, seguendo le procedure descritte nell'ALLEGATO 2, sono state realizzate n°3 stese sismiche a rifrazione e n°2 tomografie geoelettriche e n°1 misura di microtremore per la caratterizzazione geofisica dei terreni e per una ricostruzione stratigrafica bidimensionale dell'area. Tali indagini hanno permesso di investigare il terreno fino alla profondità di circa 20 m sia con i metodi sismici che quelli geoelettrici e i risultati delle due metodologie sono concordi nell'individuare la presenza locale di coltri di spessore inferiore a 5.0 dal piano campagna attuale e una diffusa presenza di substrato roccioso a profondità superficiali.

Le tomografie sismiche hanno permesso di riconoscere gli spessori delle coltri e la presenza di un substrato roccioso con valori di velocità di propagazione elevati a testimoniare una qualità dell'ammasso roccioso da buona a discreta e quindi di ottenere indicazioni utili alla ricostruzione stratigrafica del sito. Localmente sono state individuati materiali con caratteristiche riconducibili ad un substrato fratturato che appare localizzato in settori di limitata estensione.

Le tomografie elettriche hanno anch'esse permesso di individuare coltri locali con spessori modesti; inoltre all'interno del materiale roccioso sono stati rilevati lineazioni con modesti valori di resistività elettrica associabili ad un probabile contenuto di acqua lungo vene o fratturazioni.

Come riportato nel report in ALLEGATO 2, le cui risultanze sono sintetizzate in FIGURA 8, a seguito dei risultati ottenuti è possibile definire per l'area d'indagine un modello sismico interpretativo costituito da 3 unità sismo-sistratigrafiche principali:

- **Unità 1 – coltre detritica superficiale**: si tratta di terreni poco omogenei con valori medi di V_P pari a circa 500-700m/s e V_S di circa 200-300m/s che si estende per i primi 2 - 5m di profondità.

- **Unità 2 – substrato roccioso fratturato:** tale unità, che si estende localmente in zone limitate all'interno dell'ammasso roccioso e come livello alterato con spessori di circa 1m - 2m, presenta valori medi di V_P pari a circa 1200 -1600m/s e V_S presumibilmente di circa 500-600m/s.

- **Unità 3 – materiale lapideo:** tale unità, che si estende oltre i 5-6m di profondità dal p.c. nel settore centrale (in corrispondenza del sondaggio S1) e a profondità inferiori a 3m nel resto dell'area della linea sismica, presenta valori di V_P superiori ai 2400m/s e V_S di circa 800-900m/s.

I risultati delle tomografie elettriche riportati sinteticamente in FIGURA 8 (indicazioni più esaustive sono contenute nell'ALLEGATO 2), evidenziano la presenza diffusa su gran

parte dell'area di indagine già a partire da 2-4m dal p.c di un materiale ad alta resistività con valoricompresi tra 50 e 100 ohm.m, poco ricco in acqua, riconducibile ad un ammasso roccioso poco permeabile e con fatturazione superficiale. Localmente sono stati individuati corpi con valori di resisitività inferiori a 30 ohm.m nei primi 3-5m di profondità, in corrispondenza di un volume di coltre sciolta individuato nella sezione 2 anche attraverso le indagini sismiche. Inoltre è stato possibile, attraverso l'applicazione di metodi di acquisizione di dati geoelettrici tipo Wenner (vedi ALLEGATO 2) investigare l'ammasso roccioso in profondità con una buona risoluzione per cercare le fasce di fatturazione ricche di acqua: da tale indagini si è ricostrutito un andamento di tali superfici caratterizzate da anomalie di resistività elettrica negative (e quindi presumibilmente con contenuto di acqua maggiore) orientate secondo le direttrici rinvenute dalle analisi geologico-strutturali di superficie che dalle analisi di fotogeologia.

3.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

In considerazione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area e dei risultati delle indagini geofisiche svolte, nel corso della presente fase d'indagine sono stati realizzati n°2 sondaggi a carotaggio continuo con recupero di materiale (FIGURA 7) (ALLEGATO 3 - Foto 5-6-7-8-9-10). I risultati ottenuti dalle indagini dirette espressi come stratigrafie sono riportati in FIGURA 9 e FIGURA 10. I sondaggi sono stati spinti fino alla profondità di 14.5m dal p.c (S1) e 14.4 dal p.c (S2).

Il profilo stratigrafico in entrambi i sondaggi mostra la sovrapposizione di terreni sciolti rimaneggiati, con spessori variabili da 1.5m a 5.3m, al basamento roccioso in condizioni di conservazione scadenti nel livello superficiale decompresso, buone nei sottostanti orizzonti strutturati.

Nelle fasi di carotaggio sono stati anche prelevati campioni rimaneggiati nel sondaggio S1 all'interno del livello di coltre: le analisi al setaccio realizzate su detti campioni mostrano i seguenti valori medi

Passante	%
1mm	55
5mm	30
20mm	15
Limi-argille	30

Sono state inoltre realizzate due prove geotecniche in foro di tipo penetrometrico dinamico a profondità –1.5m e 3.0 m dal p.c. rispettivamente. Il terreno investigato ha fornito valori di N_{SPT} pari a 6 e 10 nelle due prove. Questi valori permettono di stimare la resistenza al taglio ditale materiale utilizzando le note formule di conversione tra valori di SPT e parametri geotecnica: nella tabella di seguito sono riportati i valori medi ottenuti utilizzando diverse correlazioni empiriche.

N_{SPT}	Profondità (m)	Φ (°)	γ (t/m^3)
6	1.5	29.2	1.8
10	3.0	32.2	1.8

3.4 SEZIONI GEOLOGICO-STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE

Tutti gli elementi emersi nel corso delle indagini hanno permesso l'elaborazione di alcune sezioni geologico-stratigrafiche (FIGURA 11-12), redatte sulla base della sezioni topografiche preparate dal progettisti, al fine di fornire l'immediata comprensione dei rapporti geometrici tra i terreni descritti di seguito:

- coltre detritica

E' costituita da un orizzonte di terreni a grana media rappresentato da sabbia limosa-ghiaiosa con ciottoli debolmente argillosa.

Questo orizzonte, che risulta in alcuni settori dell'area di ampliamento rappresenta il riferimento per l'appoggio della barriera impermeabile che sarà posta al di sotto del volume di RSU, ha uno spessore variabile da 1.0 fino a 8.0 m.

I terreni di coltre presentano un comportamento geotecnico definibile con difficoltà, in funzione del fuso granulometrico eterogeneo: si sceglie un mezzo a grana grossa con grado di addensamento medio-basso.

La densità secca è stimata di 17-18 kN/m^3, mentre in condizioni naturali, prossime alla saturazione, il peso di volume si attesta su valori tra 19 e 21 kN/m^3.

Per quanto attiene alle caratteristiche di resistenza al taglio, si può assegnare un valore d'angolo d'attrito caratteristico medio compreso tra 30° e 33° e coesione drenata nulla.

- substrato roccioso

Si tratta di argilliti scure manganesifere, siltiti ed areniti fini in strati gradati medi e spessi riconducibilia alla Formazione delle Argilliti di Montanesi. Sulla base di quanto osservato l'ammasso roccioso nel suo complesso presenta giunti di fratturazione pervasivi alla scala dell'affioramento e caratterizzati da una marcata alterazione, che interessa almeno 1.0 m di spessore (cappellaccio).

L'ammasso è classificato adottando la metodologia proposta da P. Marinos e E. Hoek (2000) che prevede l'utilizzo del Geological Strenght Index ottenuto dall'indice RMR di Z.T. Bieniawski (1989) secondo la seguente formulazione:

$$GSI = RMR_{(1989)} - 5 = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + 15) - 5$$

Par.	Descrizione	Descrizione

R1	Resistenza alla compressione monoassiale	5-25 MPa;
R2	Recupero percentuale modificato	25%-50%
R3	Spaziatura tra i giunti	60-200 mm
R4	Condizioni dei giunti	persistenti, 0.1-1 mm, ondulati, alterati

Le caratteristiche geomeccaniche rilevate e i valori di RQD ottenuti mediante le indagini geognostiche realizzate comportano un campo valori del G.S.I. compreso tra 25 e 27, coerente con quanto riportato dagli Autori per le formazioni tipo Flysch e in particolare ai tipi F (prevalente) ed E (subordinato).
La ridotta spaziatura tra le discontinuità, unitamente al numero delle stesse in rapporto alle dimensioni dell'opera in oggetto, rendono possibile l'assimilazione del substrato roccioso ad un mezzo continuo-equivalente: i parametri di resistenza al taglio sono desunti con l'inviluppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown (Hoek E. et al., 2002) adottando un valore della costante m_i pari a 7 ± 4 (*shales, slates*).
Il valore modale della resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa σ_c è posto pari a 30 MPa, mentre il peso di volume del materiale roccia oscilla tra 25.5 kN/m^3 e 26.5 kN/m^3.
I risultati ottenuti sono riportati nei grafici illustrativi allegati, ottenuti con apposito programma di calcolo RocLab 1.01, 2004 (FIGURA 13).
Le caratteristiche dell'ammasso roccioso nel livello più competente in termini di resistenza al taglio e coesione efficace mostrano valori pari a:

Angolo di attrito efficace = 40°

Coesione = 34.0 kPa

4. MODELLO IDROGEOLOGICO DELL'AREA

La definizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area è uno degli scopi delle presenti indagni alla luce delle indicazioni e delle prescrizione di legge per questa tipologia di progetti (D.Lgs. 36/03). Come detto in precedenza l'area è stata in passato oggetto di indagini nell'ambito del progetto di realizzazione della discarica attualmente in funzione durante le quali (Studio di Compatibilità ambientale e progetto per la Discarica per RSU di Rio Marsiglia – redatta da ABITGEO -1982) sono stati definite le caratteristiche di circolazione idrica e i parametri di permeabilità dei materiali presenti in tutta l'area del insistente sul bacino del Rio Marsiglia e quindi anche quella coinvolta dal presente progetto. I valori e le risultanze contenute in queste indagini pregresse sono stati considerati per un confronto con quelli stimati nell'ambito delle presenti indagini che sono di seguito riportati.

4.1 CONSIDERAZIONI SULLA PERMEABILITA' DEI TERRENI

I terreni detritici presenti nell'area sono stati oggetto di prove di permeabilità in situ mediante prove a carico variabile realizzate in pozzetti scavati all'interno del livello di coltre (Figura 14)(FOTO 11).

Le prove in pozzetto consentono di determinare in modo molto semplice la permeabilità di un terreno superficiale. Operativamente si realizza uno scavo, lo si riempie d'acqua e si valuta l'abbassamento dell'acqua all'interno dello scavo (prove a carico variabile).

I pozzetti di prova realizzati nel presente studio sono di forma circolare e le dimensioni sono state scelte basandosi sugli strumenti di scavo disponibili. Poiché in linea di principio, seguendo le raccomandazioni AGI, le dimensioni devono aumentare all'aumentare delle dimensioni dei granuli del terreno e considerando che il diametro del cerchio (dei pozzetti circolari) devono essere superiore a 10-15 volte la dimensione della frazione granulometrica significativa. Le prove sono state eseguite realizzando dei pozzetti circolari di diametro pari a 30cm. Tale dimensione appare coerente con le indicazioni sull'esecuzione di tali prove considerando che la dimensione della frazione granulometrica significativa delle coltri detrtitiche presenti in situ risulta inferiore a 0.1 cm. La profondità dei pozzetti è stata impostata pari a 40cm.

I risultati attenuti di tali prove forniscono valori di permeabilità (K) compresi tra

$$2 \times 10^{-5} \text{ m/s e } 3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Per quanto concerne la caratterizzazione dell'ammasso roccioso, sebbene questo sia caratterizzato da giunti di stratificazione e di fatturazione diffusi e oggetto di rilievo strutturale di dettaglio, l'esecuzione di prove di permeabilità in foro tipo Lugeon per la stima della permeabilità della roccia non è stata considerata ottimale in quanto i risultati di tali prove sono di sicura affidabilità se eseguiti in complessi rocciosi porosi e/o diffusamente microfessurati. Si è quindi optato per una stima della permeabilità basata sui dati ottenuti dal rilievo geomeccanico e applicando alcuni metodo empirici tra i più noti nella letteratura scientifica del settore.

In particolare sono state utilizzate l'approccio proposto da Snow (1968) e quello proposto da Wei, Egger e Decoudres (1995) confrontando in modo critico risultati ottenuti da entrambi. L'approccio di Snow prevede la stima del K (coefficiente di permeabilità) espresso in cm/s secondo l'equazione

$$K = (g * ap^3) / (12 \upsilon * sp) \text{ [cm/s]}$$

dove: g = accelerazione di gravità = 981 cm/s2
ap = apertura delle discontinuità [cm]
υ = coefficiente di viscosità cinematica (per acqua a 20℃ = 0,0101 cm2/s)
sp = spaziatura delle discontinuità [cm]

Considerando i risultati delle indagini geomeccaniche unitamente alle indicazioni fornite dai sondaggi geomeccanici da tale metodo si ottengono per le Argilliti di Montanesi valori di K dell'ordine di $10^{-6} – 10^{-7}$ cm/s.

L'approccio di Wei, Egger e Decoudres (1995) definisce il coefficiente di permeabilità secondo l'equazione

$$K_0 = \frac{1}{6} \cdot \frac{e^3}{S_{a0}}$$

dove e (e_i) rappresenta l'apertura idraulica delle discontinuità ed S_{ao} è la spaziatura media delle discontinuità delle diverse famiglie. Per ottenere l'apertura idraulica (superficiale), Barton *et alii*, (1985) forniscono la seguente relazione:

$$e_i = \frac{e_t^2}{JRC^{2,5}}$$

dove:
e_t = apertura meccanica (µm), cioè la misura dell'apertura rilevabile in sito;
JRC = coefficiente di rugosità delle discontinuità (Joint Roughness Coefficient).

La stima del parametro e_t (10^{-2} cm) del JRC (valor medio 7) delle aperture rilevata in situ ha condotto al calcolo del K stimato pari a circa 10^{-7} cm/s.

Da tali misure e stime empiriche si può quindi dedurre che la roccia al di sotto della area oggetto di ampliamento della discarica fornisce valori di coefficiente di permeabilità K pari a circa 10^{-8} – 10^{-9} m/s e rappresenta un livello sostanzialemte impermeabile mentre il livello di coltre detritica presenta valori di permeabilità medio-bassa (K 10^{-4} – 10^{-5} m/s).

Tali valori, utilizzati per la reazione della carta idrogeologica dell'area (FIGURA 14), sono confrontabili con quanto riportato nelle indagini geologiche svolte all'epoca del progetto della discarica attualmente in funzione ("Studio di Compatibilità ambientale e progetto per la Discarica per RSU di Rio Marsiglia – redatta da ABITGEO anno 1982"), confermando sostanzialmente un quadro di bassa permeabilità favorevole rispetto alla realizzazione di un impianto di gestione di rifiuti controllato.

4.2 MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Le indagini svolte hanno previsto per la ricostruzione del modello idrogeologico anche attraverso la messa in opera di due piezometri in corrispondenza dei sondaggi a carotaggio continuo S1 e S2. Sono state realizzate le misure del livello piezometrico con frequenza settimanale nel periodo marzo-giugno 2012 e sono state monitorate anche i livelli di acqua all'interno dei pozzi allestiti (P1 e P2) con pompe ad immersione realizzati temporaneamente dall'ente gestore della discarica in funzione (FIGURA 15).

I risultati mostrano valori di profondità dell'acqua all'iterno dell'ammasso roccioso maggiori di 6.0m dal piano campagna (FIGURA 15,16 e 17). Tali valori, ad eccezione di

quello del piezometro S1, non rispondono con tempi brevi alle precipitazioni avvenute in loco e registrate dalla centralina meteo opernante nella discarica in funzione (FIGURA 15).

Questa considerazione lascia intuire come la ricarica della circolazione idrica profonda in roccia sia legata anche e principalmente a sorgenti profonde, legate all'interazione con bacini idrogeologici sotterranei e non ad una ricarica che attinge esclusivamente dal bacino idrico del Rio Marsiglia.

5. ATTIVITA' DI PREPARAZIONE DELL'AREA E INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DELLE CRITICITA'

5.1 OPERE DI CONTROLLO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

L'area su cui insisterà la nuova discarica non è interessata né dalla presenza di falde sospese né libere ma da una circolazione idrica profonda che si sviluppa all'interno del substrato roccioso. Il substrato roccioso è sostanzialmente impermeabile in condizioni d'integrità, ma, in considerazione del grado di fratturazione acquisito, risulta permeabile, in particolare nei livelli superficiali, e le discontinuità caratteristiche rappresentano la via di circolazione preferenziale; si deve ritenere, infatti, che l'acqua possa saturare le fratture in profondità e possa trovare vie di percolazione secondo i rapporti geometrici esistenti tra i giunti caratteristici dell'ammasso roccioso. Nel settore di monte dell'area sono state rinvenute mediante le indagini svolte sorgenti in roccia puntuali talune delle quali all'atto delle indagini risultano captate in roccia con pompe a immersione in fori. La profondità di risalita dell'acqua in tali punti del versante è variabili e risulta, con riferimento a quanto indicato nella normativa vigente (D.Lgs. 36/2003) nei modelli idrogeologici ricostruiti a seguito delle indagini, a profondità maggiori di 3.0 m rispetto allo strato di base della barriera impermeabile (FIGURA 18).

Per intervenire regimando le acque circolanti lungo fratture nell'ammasso roccioso rinvenute nell'area, assicurando così una distanza minima del fondo discarica dal massimo livello di escursione falda maggiore di 2m (D.Lgs. 36/2003), si prevede di realizzare opere di drenaggio subsuperficiale, mediante la messa in opera di trincee drenanti alla base della scarpata che delimita a monte il volume dei rifiuti (FIGURA 19). Tali trincee si approfondiranno fino a circa 4.0m dal piano di imposta della barriera geologica e saranno protette dal rifiuto che le ricoprirà mediante tubazioni di grande diametro ispezionabili. Le trincee prevederanno "camini drenanti" che saranno posti in corrispondenza delle lineazioni in roccia ricche d'acqua. Una trincea di dimensioni modeste è già stata realizzata (FOTO 12) dal Consorzio Rio Marsiglia durante le fasi di scavo per il reperimento del materiale sciolto utilizzato attualmente per il ricoprimento della discarica in coltivazione: va sottolineato che, a testimonianza dell'efficacia di una soluzione progettuale di questo tipo, durante il periodo di indagni è stato possibile constatare la presenza all'interno della trincea di acque provenienti dal versante a monte intercettate da quest'opera provvisoria.

Con particolare riferimento al lato nord-occidentale della discarica (quello in cui sono ubicati i Pozzi 1 e 2 e la linea sismica ST03 nella FIGURA 7) va considerata l'eventuale

possibilità di messa in opera di pozzi con pompe ad immersione per l'emungimento delle sorgenti in roccia rinvenute nel versante qualora la profondità della trincea non assicurasse una captazione certa delle acque circolanti lungo le fratture in roccia.

Tutte le acque drenate e intercettate da tali opere saranno opportunamente convogliate lungo una canalizzazione che porta le acque nei rii adiacenti lungo canali di gronda opportunamente schermati da strutture di protezione. (FIGURA 19).

5.2 ATTIVITA' DI SCAVO PER LA PREPARAZIONE DELL'AREA

La realizzazione dell'ampliamento della discarica prevede scavi e movimentazione di terre e rocce per la preparazione dell'area alla messa in opera del livello di fondazione della vasca impermeabilizzata al di sotto del volume di rifiuti. Le previsioni di progetto prevedono che sia opportunamente preparata, mediante una rimodellazione della topografia esistente, la zona sub-pianeggiante a monte della discarica attualmente in funzione che risulta già oggetto di scavi finalizzati al reperimento di materiali sciolti utilizzati per la copertura dei rifiuti abbancati attualmente in discarica. Si prevede inoltre di intervenire sulle zone di versante che attualmente presentano un acclività maggiore rispetto al piazzale già oggi oggetto di scavi ancora mediante una preparazione del terreno finalizzata alla realizzazione delle pareti della vasca impermeabilizzata sottostante il volume di rifiuti previsto a progetto.

Queste attività, che si svolgeranno suddividendo l'area oggetto di scavi in differenti settori di scavo da eseguire in diverse fasi, prevedono complessivamente lo scavo di volumi totali pari a circa 40000 m^3 costituiti sia da coltri di versante che da materiale roccioso in buono stato di conservazione.

Stante le risultanzae delle indagini realizzate si prevede uno scavo e movimentazione di circa 28000-32000 m^3 di roccia e circa 8000-12000 m^3 di coltri di versante presenti nell'area.

Le differenti fasi di scavo sopraccitate possono essere descritte in questa fase secondo uno schema di lavoro di questo tipo:

- frantumazione e scavo del volume di materiale roccioso ubicato nel settore orientale dell'area (FOTO 13) per il raggiungimento della quota prevista per il fondo dell'amplimento in quelo settore; il materiale estratto potrà essere parzialmente riutilizzato per la realizzazione del rilevato della pista di accesso alle quote superiori della discarica prevista nel settore meridionale dell'area;
- riprofilatura della zona pianeggiante già oggetto di scavi per una regolarizzazione del fondo del livello impermeabile sottostante i volume di rifiuto; i materiali sciolti che si incontreranno in questa fase potranno essere in parte riutilizzati a seguito di opportune vagliature in loco per la preparazione dello strato di regolarizzazione previsto al di sotto della barriera impermeabile artificiale;
- frantumazione e scavo del settore di versante in posizione nord-orientale per la riprofilatura della zona di parete della vasca impermeabilizzata; si prevede movimentazione di materiale sciolto roccioso che potrà essere in parte riutilizzato nell'area di ampliamento;

- scavo e riprofilatura del settore di versante in posizione sudoccidentale dell'area (FOTO 14) realizzato prevalentemente in materiali sciolti che saranno in parte riutilizzati a seguito di opportune vagliature in loco per la preparazione dello strato di regolarizzazione previsto al di sotto della barriera impermeabile artificiale;

La gestione di tutti i materiali naturali oggetto di farà riferimento alle normative regionali in compo di terre e rocce da scavo, che prevede, a seguito di opportune indagini, la possibilità di parziale riutilizzo in loco dei materiali e il conferimento dei materiali in eccesso in apposite discariche.

5.3 SOLUZIONI PER L'IMPERMEABILIZZAZIONE DELL'AREA

Secondo quanto indicato nella normativa di riferimento (D.Lgs. 36/2003) per le discariche di RSU il piano di imposta dello strato inferiore della barriera di sconfinamento deve essere posto al di sopra del tetto dell'acquifero confinato con un franco di almeno 1,5 metri, nel caso di acquifero non confinato, al di sopra della quota di massima escursione della falda con un franco di almeno 2 metri. Le caratteristiche del sistema barriera di confinamento artificiale sono garantite normalmente dall'accoppiamento di materiale minerale compattato o da un geocomposito che presenti caratteristiche di conduciblità idrauliche equivalenti, 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 il minerale compattato ovvero il geocomposito, senza interposizione di materiale drenante.

Inizialmente si eseguirà la preparazione della "vasca" contenente il rifiuto, cioè del fondo e delle pareti della discarica, che sarà ottenuta regolarizzando opportunamente la superficie alle quote previste a progetto con la posa di un livello di materiale limoso sabbioso, in gran parte reperibile durante gli scavi previsti nel sito, che sarà compattato mediante l'utilizzo di rulli ed escavatori.

Successivamente si procederà alla posa della barriera impermeabile che nel caso in oggetto sarà costituita da un geocomposito bentonitico, le cui caratteristiche di permeabilità sono maggiori uguali a quanto fornisce uno strato di argilla di spessore di 1m (ai sensi del D.Lgs. 36/2003**)**, i cui fogli saranno opportunamente sovrapposti e su cui sarà successivamente posata una geomembrana in PHDE ad alta densità, saldata secondo le tecniche più avanzate ed opportunamente ancorata sul perimetro della discarica onde evitare l'effetto vela del vento. Tale soluzione sebbene non preveda la presenza di uno strato di materiale naturale di spessore di almeno 100cm come indicato nel D.Lgs. 36/2003, fornisce una conducibilità idraulica inferiore al valore indicato nella normativa vigente per lo strato di separazione (conducibilità idraulica $K \leq 10^{-7}$ m/s). Pertanto si intende realizzare l'impermeabilizzazione delle pareti e del fondo del corpo di rifiuti con uno strato geocomposito bentonitico le cui caratteristiche tecniche, in termini di resistenza al taglio nelle superfici di contatto con la geomebrana e in termini di resistenza alle sollecitazioni

longitudinali e trasversali potranno variare in funzione del settore della vasca di impermeabilizzazione. (vedi FIGURA 20).

La normativa prevede, quali requisiti minimi, al di sopra di questo livello impermeabile la presenza di uno strato drenante per la captazione del percolato (la superficie di impermeabilizzazione basale deve essere conformata a compluvi e displuvi in modo da favorire l'allontanamento veloce del percolato tramite le tubazioni fessurate installate sopra l'impermeabilizzazione all'interno dello strato drenante) (vedi FIGURA 20).

Le zone di parete della vasca dovranno prevedere l'utilizzo di geocompositi bentonitici e geomembrane ad alta densità ad aderenza migliorata e dello spessore di 2,0 mm con maggiori capacità di resistenza al taglio lungo l'interfaccia tra i due materiali, tale da conferire a questo livello un'equivalenza di conducibilità idraulica pari a 1 metro di argilla con coefficiente di impermeabilità $K < 10^{-7}$ m/s (vedi FIGURA 21).

Va inoltre considerato che le impermeabilizzazioni sintetiche devono necessariamente essere protette dall'azione di parti acuminate o taglienti contenute nei rifiuti, dalla pressione dei materiali granulari impiegati per il drenaggio e dalle sollecitazioni dei veicoli e dei mezzi operativi addetti alla movimentazione rifiuti. La protezione delle geomembrane può essere ottenuta impiegando sabbia, ghiaia di ridotta dimensione, materiali di scarto fini (ad es. ceneri di carbone) e per le pareti geotessili di tessuto-nontessuto abbinati a pneumatici riempiti con terreno sfuso o in alternativa geocompositi drenanti antipunzonanti (vedi FIGURA 21).

Tale proposta progettuale si basa sulla considerazione che l'utilizzo dei geosintetici nella costruzione delle discariche controllata è oramai diventato indispensabile soprattutto perché questi sistemi sono concepite come opere ingegneristiche a lunga e lunghissima durata. I geosintetici vengono di norma utilizzati sia sul fondo che nelle coperture delle discariche. Inoltre va sottolineato che la situazione geologica rinvenuta a seguito delle indagini svolte nell'area mostra alle quote di progetto della "vasca" impermeabilizzata che conterrà i rifiuti la presenza di substrato roccioso localmente affiorante o con sottili coperture detritiche. Considerando la composizione prevalentemente argillitica e marnosa del substrato e la presenza di superfici di fratturazione e di discontinuità i valori del coefficiente di permeabilità per l'ammasso roccioso nel suo complesso sono valutati nell'ordine di 10^{-7} m/s. Pertanto la situazione esistente e ricostruita a seguito delle indagini prevede una sorta di barriera geologica naturale costituita dal substrato roccioso e quindi complessivamente le condizioni geologiche risultano favorevoli alla realizzazione della discarica a progetto con questa soluzione.

Per quanto riguarda l'impermeabilizzazione del volume di rifiuti sono stati presi in considerazione anche le coperture superficiali con cui dovranno essere coperti i rifiuti trattati. La copertura superficiale finale della discarica (capping) dovrà rispondere ai seguenti criteri:

- isolamento dei rifiuti dall'ambiente esterno;
- minimizzazione delle infiltrazioni d'acqua;
- riduzione al minimo della necessità di manutenzione;
- minimizzazione dei fenomeni di erosione;

- resistenza agli assestamenti ed a fenomeni di subsidenza localizzata.

Quando la discarica è esaurita è di fondamentale importanza impedire che le acque di infiltrazione vadano a contatto con i rifiuti(produzione di percolato) e contrastare i fenomeni di erosione. Per questi motivi il pacchetto di copertura delle discariche controllate è così importante. Nella realizzazione della copertura in sicurezza della discarica prevista a progetto sono previste per evitare le infiltrazioni dell'acqua geomembrane in HDPE, geotessuti di protezione ed eventualmente geogriglie tridimensionali per impedire lo scivolamento di strati di terreno sulle scarpate lisce maggiormente inclinate previste a progetto.
La copertura sarà realizzata mediante una struttura multistrato costituita, dall'alto verso il basso, almeno dai seguenti strati (vedi FIGURA 22):

1. strato superficiale di copertura con spessore ≥1 m che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del piano di ripristino ambientale e fornisca una protezione adeguata contro l'erosione e di proteggere le barriere sottostanti dalle escursioni termiche;
2. strato drenante che sarà costituito da geosintetici con elevata valori di resistenza al taglio all'interfaccia con il terreno soprastante e in grado di impedire la formazione di un battente idraulico sopra le barriere impermeabili sottostanti;
3. geomembrana HDPE con conducibilità idraulica K ≤ 10-8 m/s (caratteristiche equivalenti a uno strato minerale di spessore maggiore di 0.5m) caratterizzato da superfici rugose per aumentare la resistenza al taglio della superficie;
4. strato drenante per il drenaggio del biogas che sarà costituito da geotessuti in grado di impedire la formazione di un sacche di gasal di sotto dellle barriere impermeabili soprastanti;
5. strato di regolarizzazione costituito da terreno sciolto di granulometria medio-fine con la funzione di permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti.

Una particolare considerazione circa le soluzioni previste per l'area di sovrapposizione tra il volume di discarica già autorizzato e il nuovo volume previsto a progetto con un estensione pari a circa 6000 m^2. In questo settore si andranno a sovrapporre i materiali che costituiranno il capping della discarica già autorizzata con la barriera di fondo del volume della nuova discarica e in sostanza si prevede che la sovrapposizione di questi due elementi sia un elemento di maggior sicurezza in termini di permeabilità. In quest'area di fatto si sovrapporranno due elementi costituiti da materiali sintetici e naturali alternati (FIGURA22b) i cui coefficienti di conducibilità idraulica saranno inferiori a 10^{-7} m/s per ciascuno dei due, creando una barriera impermeabile che suddividerà i volumi di RSU delle due fasi della discarica.

6. VERIFICHE DI STABILITA'

In questo studio sono stati realizzate analisi inerenti la stabilità complessiva della discarica nella configurazione di progetto in termini di limiti ammissibili di geometria e volumi.

La sistemazione finale prevista a progetto è stata oggetto di verifiche di stabilità realizzate secondo l'approccio riportato nelle norme vigenti e in particolare secondo quanto indicato nel capitolo 7 del D.M. 14 Gennaio 2008. In tali verifiche è stato considerata anche l'influenza della nuova discarica sul corpo della discarica già autorizzata. In tal senso gli spessori e le caratteristiche idrauliche del corpo di discarica esistente sono state stimate considerando i dati messi a disposizione dal Consorzio riguardanti il monitoraggio inclinometrico, le letture di profondità del livello di percolato e le verifiche di stabilità annuali realizzate all'interno del corpo di rifiuti esistenti. Sono stati considerati i rilievi topografici dell'area di discarica autorizzata messi a disposizione dal Consorzio che coprono il periodo dal gennaio 2005 al dicembre 2011: mediante la sovrapposizione delle quote riportate nelle sezioni disponibili è stato possibile stimare gli spessori minimi e massimi del rifiuto abbancato nel settore della discarica prossimo all'area prevista a progetto per il nuovo conferimento di RSU (vedi ALLEGATO 4). In fase di verifica caurtelativamente sono stati utilizzati i valori massimi di spessore del rifiuto per modellare le condizioni più cautelative ragionevolmente possibili nell'area oggetto di analisi.

Particolare importanza è stata data alla definizione dell'interazione tra i volumi di RSU previsti a progetto e quelli che sono già stati autorizzati nella discarica in via di realizzazione.

Le analisi di stabilità sono state eseguite mediante apposito programma di calcolo (SLIDE 5.010, 2004), utilizzando i metodi all'equilibrio limite di Bishop e Jambu semplificati. Le verifiche tengono conto delle possibili superfici di scivolamento circolari (in numero pari a circa 5000) derivanti da una maglia dei centri, impostate entro i materiali e passanti a varie altezze lungo il corpo della discarica: sono state analizzate sia superfici all'interno alla parte già abbancata, sia quella prevista a progetto e a livello globale lungo tutto il versante analizzato con particolare attenzione lungo la superficie di interfaccia costituita dalla barriera geologica.

Ai fini di valutarne l'incidenza sulla stima dei fattori di sicurezza è stata considerata una falda all'interno dei rifiuti abbancati e una all'interno di quelli previsti a progetto: la stima della profondità del livello di falda all'interno dei rifiuti esistenti è realizzata considerando i dati dei monitoraggi forniti dal consorzio.

Le analisi sono state condotte nella situazione simulando lo stato di progetto ricostruito nelle sezioni geologiche interpretative, valutando in back analysis le resistenze minime che le opere di impermeabilizzazione dovranno essere in grado di fornire e le quote critiche del livello di percolato entro il rifiuto oltre le quali la stabilità complessiva della discarica (volumi esistenti-volumi a progetto) risulta messa a rischio. Tali indicazioni sono fondamentali per indirizzare la scelta delle tipologie di materiali geosintetici e da utilizzare nelle opere di impermeabilizzazione oltre che per verificare la stabilità dei fronti locali e per indirizzare

opportunamente le opere di gestione del percolato all'interno della nuova porzione di discarica.

Le analisi di stabilità sono state condotte sulla base delle sezioni preparate dal Progettista e in particolare sulle Sezioni 1, 4 e 8 che risultano essere rappresentative della geometria della discarica. Per una valutazione della stabilità complessiva dell'insieme nuovo e vecchio volume della discarica le sezioni su cui sono state realizzate le verifiche sono estese fino alla base della discarica già autorizzata e coltivata.

6.1 CONSIDERAZIONE SUI PARAMETRI GEOTECNICI

I coefficienti di sicurezza sono stati calcolati schematizzando l'assetto strutturale come esposto in precedenza nelle sezioni geologiche interpretative, adottando i parametri di resistenza per i materiali naturali e i rifiuti definiti secondo quanto di seguito descritto.

Dai dati ottenuti dalle prove penetrometriche effettuate in passato sul sito, unitamente ai risultati delle prove ed indagini effettuate sui materiali naturali nell'ambito delle presenti indagini e ai parametri reperibili in letteratura per gli RSU sono stati stimati i valori medi dei principali parametri geotecnici del substrato roccioso, delle coltri detrtiche e dei rifiuti (abbancati e previsti a progetto).

Si è applicato quanto indicato dalle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC sul fatto di considerare i Valori caratteristici circa uguali ai valori medi. Pertanto si è considerato Vm (valori medi) = Vk (valori caratteristici).

Per quanto concerne i materiali naturali, substrato roccioso e coltre detritica i parametri caratteristici sono stati ottenuti dalle risultanza delle le prove e le indagini sopra descritte.

Per quanto riguarda la caratterizzazione del rifiuto esistente e di quello previsto a progetto, sono state prese in considerazione le analisi delle indagini geognostiche e geotecniche eseguite precedentemente sull'area della discarica ("Indagine sismica MASW e penetrometrica DPSH" – anno 2010 a corredo della "Verifica di stabilità" – Febbraio 2010 a firma del Dott. Geol. G. Piaggi" ; "Studio di Compatibilità ambientale e progetto per la Discarica per RSU di Rio Marsiglia – redatta da ABITGEO anno 1982"; "Verifica di stabilita' dei rifiuti abbancati nel corso dell'anno 2011" a firma della Dott.ssa Simona Fuiano) oltre che valori riportati in bibliografia relativi a discariche con caratteristiche simili e collocate nella nostra regione (vedi discarica di Scarpino, Comune di Genova).

Considerando valori indicati in bibliografia, confrontati con i dati ottenuti dalle indagini appositamente eseguite, per le verifiche si è valutato anche un minimo valore di coesione efficace nei livelli costituiti dai rifiuti. Come già riportato nei paragrafi precedenti, in base a quanto indicato nel Decreto Ministeriale 14.01.2008 Norme Tecniche per le Costruzioni, si sono utilizzati i coefficienti parziali relativi all'Approccio 1 Combinazione 2 (GEO A2+M2+R2), con A2 = 1, R2 = 1.1, M2 variabile tra 1.25 e 1.4. I parametri geotecnici di progetto dei terreni adottati per le verifiche (pedice d), ottenuti dai valori caratteristici (pedice k, considerati uguali a quelli medi), sono:

Parametri di progetto	Substrato roccioso (argilloscisti)	Coltre detritica	Rifiuto esistente	Rifiuto a progetto	Barriera geologica e capping
Angolo di attrito (°) tg φd = tgφk/1.25	Tg40°/1.25 => φd = 33.9	Tg32°/1.25 => φd = 26.5	Tg30°/1.25 => φd = 24.8	Tg28°/1.25 => φd = 23	Tg20°/1.25 => φd = 16.0
Coesione(kPa) c'd=c'k/1.25	34/1.25 = 27.2	1.25/1.25 = 1	4/1.25 = 3.2	2.5/1.25 = 2	6.3/1.25= 5
Peso di volume γd=γK	26 kN/m^3	20 kN/m^3	10 kN/m^3	10 kN/m^3	18 kN/m^3

I valori di resistenza delle interfacce tra materiali sintetici/impermeabilizzanti sono stati stimati utilizzando dati bibliografici e dati forniti dalle case produttrici di geocompositi e geomembrane inserendoli in verifica con valori assolutamente cautelativi.

6.2 INQUADRAMENTO SISMICO

Per la stima delle azioni sismiche da applicare alle verifiche di stabilità eseguite, con riferimento al calcolo delle azioni sismiche di progetto, va tenuto in considerazione che, con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido (Vs30>800 m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base ag, senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto: lo stesso emerge anche considerando la nuova classificazione sismica inserita nel D.G.R. 1308/2008 della Regione Liguria per la quale il Comune di Uscio e in categoria 3.

Al contrario, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Utilizzando il web gis relativo alla mappa di pericolosità del territorio italiano, fornito dal Dipartimento di Protezione Civile e realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (http://esse1-gis.mi.ingv.it/) è possibile calcolare, inserendo le coordinate e le caratteristiche progettuali del sito, visualizzare e stampare grafici e tabelle relativi al computo dell'azione sismica di progetto su roccia ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008.

Per il sito in questione il valore di ancoraggio dello spettro di risposta è di 0.09 g mentre ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in funzione delle osservazioni condotte in sito, il livello di fondazione della discarica, rappresentato nello specifico dalla roccia, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto il livello di fondazione che sarà reperito è classificabile nella categoria A, che comprende ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi terreni caratterizzati da valori di Vs_{30} > 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3.0 m.

Alla luce della situazione stratigrafica locale rinvenuta a seguito delle prospezioni geognostiche e delle indagini geofisiche grazie alle quali è stato possibile determinare anche la velocità media di propagazione delle onde di taglio Vs entro 30m di profondità (Vs_{30}), appare chiaro che la categoria di suolo sia quella sopracitata.

In considerazione della situazione morfologica rinvenuta nel sito di indagine si può adottare un fattore di amplificazione stratigrafica St pari a 1.2 in quanto il versante oggetto di intervento presenta una pendenza media nei dintorni del sito oggetto di intervento superiore a 15° sull'orizzontale (categoria T2) e si trova in prossimità della sommità del versante.

L'eterogeneità granulometrica delle coperture sciolte, almeno a quota fondazionale e dunque escludendo i primi orizzonti superficiali, sembra rendere improbabile la suscettibilità alla liquefazione.

Secondo quanto indicato in normativa è stata assunta come vita nominale dell'opera (numero di anni nel quale deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata e definita in funzione del tipo di costruzione dalla tabella 2.4.I NTC2008):"Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale =50 anni". Pertanto **V_N =50 anni**.

Al caso in oggetto viene assegnata una **Classe d'uso II** ("Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti" - tab. 2.4.II NTC 2008) a cui corrisponde un coefficiente d'uso **Cu = 1.0**.

Le simulazioni di calcolo saranno pertanto condotte in campo pseudostatico simulando un impulso sismico, ottenuto da calcolo mediante apposito software, K_h pari a 0.035 g per la componente orizzontale e K_v pari a 0.017 g per quella verticale, al fine di valutare la stabilità globale dei volumi di rifiuto e del terreno naturale.

6.3 RISULTATI E OSSERVAZIONI

Le verifiche condotte dimostrano che la stabilità, globale e locale del pendio, nella configurazione di progetto finale, è garantita con un coefficiente di sicurezza soddisfacente a condizione che siano rispettate le condizioni imposte nelle simulazioni, con particolare riferimento all'azione di vincolo della struttura di contenimento per la strada privata a valle dello stessa.

La forza di contrasto fornita dalla struttura di contenimento a valle del rifiuto previsto a progetto della sistemazione prevista a progetto è stata simulata applicando una forza di 5 kN/m^2. Tale soluzione e i valori in essa ipotizzati rappresenta l'azione minima di contrasto per garantire i coefficienti di sicurezza adeguati.

Le verifiche condotte dimostrano che la stabilità, globale del pendio (Fs circ) e locale lungo la superficie di contatto tra la barriera impermeabile e il corpo di rifiuto (Fs barriera), nella configurazione di progetto è la seguente per le superfici più sfavorevoli:

	Fs_{min} circ Profondità percolato 15m	Fs_{min} barriera Profondità percolato 15m
Sezione 1	1.11	1.51
Sezione 4	1.09	1.24
Sezione 8	1.15	1.14

I risultati in forma grafica della analisi di stabilità effettuata sono contenuti nell' ALLEGATO 4.

I risultati di tali verifiche mostrano una sostanziale stabilità sia dei profili di discarica a progetto che dell'intero volume di rifiuti così come sarà configurato a seguito del progetto. Le analisi mostrano i risultati lungo alcune tra le superfici più rappresentative che attraversano il corpo di discarica nei fronti ad acclività maggiore sia per quelle all'interfaccia tra superfici di impermeabilizzazione e rifiuto. Va comunque ricordato che le inclinazioni massime previste per i fronti di abbancamento del rifiuto non superano i 30° secondo in conformità a quanto previsto nella vigente D.Lgs. 36/2003.

Gli aspetti critici di tale verifiche sono emersi:

- in corrispondenza dell'argine di contenimento previsto al piede del nuovo volume di rifiuti, per verificare la stabilità in quel settore è stato necessario simulare una forza di contrasto che dovrà essere presa in considerazione nella realizzazione di tali opere di contenimento
- variando la quota di percolato è stato possibile verificare la profondità critica a cui dovrà essere mantenuto tale livello di fluidi all'interno del rifiuto per avere una certo margine di sicurezza sulla stabilità complessiva della discarica. Indicativamente nei casi in cui il livello di percolato è stato simulato a profondità inferiori (quindi più prossime alla superficie) a 12-14 m dalla quota di abbancamento finale dei rifiuti si ottengono superfici con Fattori di sicurezza di poco inferiori a 1.0. Le opere di gestione del percolato all'interno della discarica dovranno assicurare la capacità di contenere a profondità maggiori tale livello all'interno dei rifiuti e pertanto tale profondità è da considerarsi quella critica da non superare pena la stabilità locale del rifiuto. Va comunque ricordato che le verifiche condotte sono state realizzate considerando valori assolutamente cautelativi e delle resistenze dei materiali coinvolti e della geometria (spessori del rifiuto e profondità del percolato) della discarica esistente.

7.CONCLUSIONI

Dal punto di vista geologico-geomorfologico l'area su cui insisterà la discarica di rifiuti prevista a progetto si colloca in corrispondenza di un versante caratterizzato dalla presenza

di acclività medio-elevata, con presenza localizzata di coltri detritiche di spessore talora significativo che sostanzialmente saranno oggetto di scavi, come è già avvenuto per la discarica autorizzata che insiste sullo stesso versante, per essere sostituite dal rifiuto opportunamente abbancato. La configurazione finale della discarica prevederà infatti la presenza di un volume di rifiuto con spessori massimi dell'ordine di circa 25-30m e fronti di abbancamento con inclinazioni inferiori a 30°, in conformità a quanto previsto nelle normative vigenti (D.Lgs. 36/2003).

Le presenti indagini geologiche specialistiche a supporto del progetto di ampliamento della discarica hanno previsto l'applicazione di diversi metodi di indagine finalizzati a definire le caratteristiche geologico-idrogeologiche dell'area. I risultati di tali studi hanno permesso di definire le scelte progettuali ritenute più idonee a rispondere ai temi di maggior interesse "geologico" del progetto rappresentati dall'impermeabilizzazione di fondo e superficiale della discarica e dalle verifica di stabilità complessiva dell'opera nella configurazione di progetto.

In particolare le caratteristiche geologiche e geomorfologiche superficiali del comparto oggetto di ubicazione del nuovo corpo di discarica sono state definite attraverso particolareggiati rilievi geologici, con analisi geomeccaniche-strutturali sull'ammasso roccioso, e mediante indagini in situ sia di tipo diretto (sondaggi geognostici con prelievo di campioni e prove in foro) che indiretto (indagini geofisiche).

Le evidenze risultanti da tali approcci mostrano la presenza diffusa su gran parte dell'area oggetto di progetto di substrato roccioso costituito da argilloscisti, eterogeneamente fratturati ma localmente con valori elevati degli indici di qualità (R.Q.D. >50), in posizione superficiale rispetto alla quota di progetto prevista per il piano di appoggio della barriera geologica sottostante il volume di rifiuti. Per tale materiale sono stati stimati valori di permeabilità medi dell'ordine di 10^{-7} – 10^{-8} m/s.

Solo localmente sono presenti coltri di origine detritica con spessori variabili, che raggiungono profondità comprese tra 2 e 6 m rispetto alla quota 310 m s.l.m. rappresentativa del piano di base della nuova parte di discarica: le prove geotecniche e idrogeologiche in questo materiale evidenziano bassi valori di resistenza al taglio ($N_{S.P.T.}$ < 15) e valori di permeabilità medi (K = circa 10^{-2} – 10^{-3} m/s), tipici di materiali sabbioso limoso con elementi ghiaiosi.

Va sottolineato inoltre la presenza di una circolazione idrica in roccia localizzata che si manifesta attraverso la presenza di venute di acqua allineata lungo set di fratture individuate sia mediante i rilievi geomeccanici di superficie che mediante le indagini geofisiche. Tali vene idriche, confinate all'interno di livelli fratturati del substrato roccioso e limitati arealmente, mostrano apporti di acqua non strettamente legati alla piovosità stagionale ma sembrerebbero essere legate a ricariche idriche profonde all'interno dell'ammasso roccioso.

Il drenaggio di tali acque, che sarà realizzato mediante la messa in opera di trincee drenanti alla base della scarpata che delimita a monte il volume dei rifiuti, appare un elemento assolutamente necessario sia per la buona riuscita delle opere di impermeabilizzazione di fondo che per la stabilità complessiva della discarica nella configurazione finale di progetto. L'opera di drenaggio sarà realizzata creando una trincea costituita da materiale drenante (naturale e artificiale) spinta fino ad una profondità di circa

4m rispetto al piano di appoggio della superficie impermeabilizzata del fondo della discarica. L'ubicazione di tale opera è funzionale alla raccolta delle venute d'acqua che interessano alcune lineazione in corrispondenza di giunti di fatturazione individuati all'interno dell'ammasso roccioso; in particolare, in corrispondenza dei punti di circolazione d'acqua individuati, saranno messi in opera alcuni "camini drenanti" funzionali alla captazione locale e al conferimento nella trincea che convoglierà le acque nei rii naturali posti esternamente all'area di discarica.

La realizzazione dell'ampliamento della discarica prevede scavi e movimentazione di terre e rocce per la creazione del livello di fondazione della vasca impermeabilizzata al di sotto del volume di rifiuti. Queste attività, che si svolgeranno suddividendo l'area oggetto di scavi in differenti settori di scavo da eseguire in diverse fasi, prevedono complessivamente lo scavo di volumi totali pari a circa 40000 m^3 costituiti sia da coltri di versante che da materiale roccioso in buono stato di conservazione. Stante le risultanzae delle indagini realizzate si prevede uno scavo e movimentazione di circa 28000-32000 m^3 di roccia e circa 8000-12000 m^3 di coltri di versante presenti nell'area. La gestione di tali materiali farà riferimento alle normative regionali in compo di terre e rocce da scavo, che prevede, a seguito di opportune indagini, la possibilità di parziale riutilizzo in loco dei materiali e il conferimento dei materiali in eccesso in apposite discariche.

Per quanto concerne lo strato di impermeabilizzazione posto alla base del rifiuto e nelle zone di parete si ricorrerà ad una barriera impermeabile costituita da un geocomposito bentonitico, le cui caratteristiche di permeabilità sono maggiori uguali a quanto fornisce uno strato di argilla di spessore di 1m (ai sensi del D.Lgs. 36/2003), i cui fogli saranno opportunamente sovrapposti e su cui sarà successivamente posata una geomembrana in PHDE ad alta densità, saldata secondo le tecniche più avanzate ed opportunamente ancorata sul perimetro della discarica onde evitare l'effetto vela del vento. Nelle parte inferiore delle pareti della vasca impermeabilizzata, lungo una fascia con un'altezza pari a circa 6m dal fondo della discarica, in corrispondenza di una superficie complessiva pari a circa 2000 m^2, al fine di preservare la funzionalità del telo in HDPE ed evitare che i rifiuti possano creare tagli o lacerazioni dello stesso si prevede l'utilizzo di uno strato di pneumatici opportunamente riempiti di materiale drenante. Il numero complessivo dei pneumatici che si prevede utilizzare per creare lo strato, con spessore pari a quello dei pneumatici per autovetture comunemente in uso (20-30 cm circa),ammonta ad un numero di circa 8000-9000 pneumatici.

Per la copertura superficiale finale della discarica (capping) si prevede una soluzione che dovrà rispondere ai seguenti criteri:

- isolamento dei rifiuti dall'ambiente esterno;
- minimizzazione delle infiltrazioni d'acqua;
- riduzione al minimo della necessità di manutenzione;
- minimizzazione dei fenomeni di erosione;
- resistenza agli assestamenti ed a fenomeni di subsidenza localizzata.

Nella realizzazione della copertura in sicurezza dell'ampliamento della discarica in progetto sono previste per evitare le infiltrazioni dell'acqua geomembrane in HDPE e geotessuti di protezione e di drenaggio dei biogas.

La stabilità complessiva e locale della discarica nella configurazione finale di progetto è stata verficata secondo analisi all'equilibrio limite eseguite ai sensi delle vigenti NTC2008. Le analisi mostrano tali risultati lungo tutte le superfici critiche che attraversano il corpo di discarica nei fronti ad acclività maggiore sia per quelle all'interfaccia tra superfici di impermeabilizzazione e rifiuto. Va comunque ricordato che le inclinazioni massime previste per i fronti di abbancamento del rifiuto non superano i 30° secondo in conformità a quanto previsto nella vigente D.Lgs. 36/2003.

Gli aspetti critici di tale verifiche sono emersi:

- in corrispondenza dell'argine di contenimento previsto al piede del nuovo volume di rifiuti, per verificare la stabilità in quel settore è stato necessario simulare una forza di contrasto che dovrà essere presa in considerazione nella realizzazione di tali opere di contenimento;
- variando la quota di percolato è stato possibile verificare la profondità critica a cui dovrà essere mantenuto tale livello di fluidi all'interno del rifiuto per avere una certo margine di sicurezza sulla stabilità complessiva della discarica. Indicativamente nei casi in cui il livello di percolato è stato simulato a profondità inferiori (quindi più prossime alla superficie) a 12- 14 m dalla quota di abbancamento finale dei rifiuti si ottengono superfici con Fattori di sicurezza di poco inferiori a 1.0. Le opere di gestione del percolato all'interno della discarica dovranno assicurare la capacità di contenere a profondità maggiori tale livello all'interno dei rifiuti e pertanto tale profondità è da considerarsi quella critica da non superare pena la stabilità complessiva del rifiuto.

Va comunque ricordato che le verifiche condotte sono state realizzate considerando valori assolutamente cautelativi e delle resistenze dei materiali coinvolti e della geometria (spessori del rifiuto e profondità del percolato) della discarica esistente.

Ferrada di Moconesi, 20 Luglio 2012

Dott.Geologo Roberto De Ferrari