COMPLETAMENTO E SISTEMAZIONE FINALE DELL'AREA ADIBITA A DISCARICA PER RIFIUTI INERTI IN LOCALITA' CIAN CROSO, FRAZIONE CALCINARA, NEL COMUNE DI USCIO (PROVINCIA DI GENOVA)

INDAGINI GEOLOGICHE

SOMMARIO

PREMESSA pag. 3
1. RIFERIMENTI NORMATIVI pag. 4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-AMBIENTALE pag. 5
3. GIUSTIFICAZIONE DELL'INTERVENTO pag. 6
4. PROFILO GEOLOGICO pag. 7
5. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE pag. 8
6. ELEMENTI IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI pag. 9
7. INDAGINI E PROVE IN SITO pag. 11
7.1.APPROFONDIMENTI CONDOTTI NEL 2006 pag. 11
7.2. APPROFONDIMENTI CONDOTTI NEL 2007 pag. 12
7.2.1. *Sondaggi geognostici* pag. 12
7.2.2. *Prove geotecniche in sito* pag. 13
7.2.3 *Prove di permeabilità* pag. 14
7.2.4. *Monitoraggio idrogeologico* pag. 15
8. ASSETTO STRATIGRAFICO E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI MEDI pag. 15
8.1. RIPORTI pag. 16
8.2. TERRENO NATURALE pag. 17
8.3. CAPPELLACCIO D'ALTERAZIONE DEL SUBSTRATO ROCCIOSO pag. 17
8.4. SUBSTRATO ROCCIOSO STRUTTURATO pag. 18
9. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI pag. 18
10. VALORI DI PROGETTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI pag. 20
11. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA pag. 22
12. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO pag. 23
13. DEFINIZIONE DELLA FASE PROGETTUALE pag. 24
14. PIANO DI SORVEGLIANZA E DI CONTROLLO pag. 25
14.1. ACQUE SOTTERRANEE pag. 26
14.2. ACQUE SUPERFICIALI pag. 28
14.3. MORFOLOGIA DELLA DISCARICA pag. 28
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI pag. 31

ALLEGATI GRAFICI:

ALLEGATO 1: Figure e Tabelle

- FIGURA 1: corografia dell'area
- FIGURA 2: estratti cartografici Piano di Bacino T. Lavagna
- FIGURA 3: carta geologico-geomorfologica
- FIGURA 4: carta delle prospezioni
- FIGURA 5a-b: sezioni stratigrafiche interpretative
- FIGURA 6: carta delle isofreatiche
- FIGURA 7: carta delle isolinee del substrato
- FIGURA 8: carta delle isopache della copertura sciolta
- FIGURA 9: carta del piano di sorveglianza e controllo

- TABELLA 1: classificazione geomeccanica di Z.T. Bieniawski
- TABELLA 2: valori GSI per Formazioni tipo Flysch
- TABELLE 3-6: determinazione dei parametri caratteristici e di progetto
- TABELLA 7: inviluppo a rottura degli accumuli di materiali grossolani
- TABELLA 8: determinazione dei parametri di pericolosità sismica

ALLEGATO 2: Campagna geognostica 2006

- n. 3 stratigrafie dei sondaggi
- fotografie cassette catalogatrici
- rapporto di cantiere

ALLEGATO 3: Campagna geognostica 2007

- n. 6 stratigrafie dei sondaggi
- fotografie cassette catalogatrici
- valori SPT rilevati
- elaborazione valori SPT

ALLEGATO 4: Prove idrogeologiche 2006-2007

- n. 5 prove di permeabilità in foro (progetto ampliamento, sett. 2007)
- n. 3 prove di permeabilità in foro (progetto adeguamento al D.Lgs. 36/2003, sett. 2006)
- coefficiente k di permeabilità

PREMESSA

Su incarico della Società Roma S.r.l. - Discarica Calcinara, sono state effettuate le indagini geologiche finalizzate al completamento ed alla sistemazione finale dell'area adibita a discarica di inerti in località Calcinara nella porzione nord-occidentale del territorio comunale di Uscio (FIGURA 1).

L'intervento in progetto prevede l'abbancamento e la riprofilatura morfologica di materiale inerte fino al raggiungimento della configurazione finale della discarica, ubicata in una porzione di versante posta a valle della S.P. n. 19.

La realizzazione degli interventi in progetto è conseguente al recupero dell'area basale del versante, attraverso il consolidamento del piede con adeguate opere di contrasto e la prosecuzione dei canali di raccolta delle acque meteoriche con convogliamento nel tratto a cielo aperto dell'alveo naturale del Rio dei Proetti e quindi nel Rio Schienalunga, tributario del Rio di Lumarzo. Il materiale abbancato sarà riprofilato mediante gradoni di idonea altezza e pendenza.

Le condizioni di stabilità finale delle scarpate della discarica saranno incrementate dall'utilizzo di opportune tecniche di ingegneria naturalistica, che permetteranno un corretto inserimento dell'opera nell'ambiente circostante.

In considerazione della tipologia dell'intervento, delle condizioni generali della zona e dell'incidenza delle opere sul comparto in termini geomorfologici e idrogeologici, le metodologie d'indagine adottate hanno previsto:

- ricognizione preliminare necessaria per prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente;
- ricerca bibliografica e consultazione di risultanze di indagini e prove in sito eseguite in occasione di incarichi professionali nello stesso contesto geomorfologico ed in particolare:
  - α) *in data 22.02.2001 è stata prodotta una nota integrativa, indirizzata alla Provincia di Genova, inerente la modifica del progetto e la contestuale autorizzazione alla gestione della discarica;*
  - β) *in data 18.09.2001 è stato redatto il primo verbale di constatazione dello stato di fatto nella parte sommitale della discarica indirizzato alla Calcinara Srl;*
  - χ) *in data 21.11.2001, è stato redatto il secondo verbale di constatazione dello stato di fatto nel corpo centrale e nel settore basale della discarica indirizzato alla Calcinara Srl;*
  - δ) *in data 03.10.2006 è stata eseguito uno studio per l'adeguamento della discarica al D.Lgs. n. 36 del 13.01.2003, nell'ambito del quale è stata effettuata una campagna geognostica comprensiva di n. 3 sondaggi, corredata da prove geotecniche e idrogeologiche in sito;*
  - ε) *nell'aprile 2007 è stato eseguito uno studio per la messa in sicurezza e la bonifica ambientale della discarica, nell'ambito della quale è stata effettuata una campagna geognostica integrativa, comprensiva di n. 5 sondaggi, corredata da prove geotecniche e idrogeologiche in sito;*

- esame di dettaglio del terreno al fine di accertarne le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche, esteso ad un congruo areale rispetto alla zona d'intervento;
- raccolta ed elaborazione dei dati termo-pluviometrici registrati nelle stazioni di misura prossime all'area d'indagine, oltre alla ricerca dell'ubicazione e delle caratteristiche di eventuali sorgenti, pozzi e derivazioni idriche esistenti nella zona in esame;
- rilevamento geologico-strutturale al fine di fornire una classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso (secondo il RMR System e G.S.I.);
- rielaborazione di quanto emerso dalle indagini e redazione della presente relazione tecnica, con indicazioni operative, conforme alle normative vigenti in materia.

1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le presenti indagini sono state condotte in conformità a quanto previsto dalle normative vigenti a livello nazionale e regionale e in particolare:

A. norme ambientali

- Deliberazione 27.07.1984 del Comitato Interministeriale *(Disposizioni per la prima applicazione dell'articolo 4 del D.P.R. 10.09.1982 n. 915-abrogato dal D.L. 05.02.1997 n. 22 - Decreto Ronchi-, concernente lo smaltimento dei rifiuti);*
- L.R. del 21.02.1995 n. 11 (*Disciplina delle attività di smaltimento*);
- D.Lgs. 05.02.1997 n. 22 (*Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti d'imballaggio*);
- *Proposta di regolamento per l'istituzione della conferenza provinciale per l'approvazione dei progetti d'impianti per lo smaltimento di rifiuti, per la determinazione dei requisiti della domanda di approvazione e della documentazione progettuale ai sensi dell'art. 17 punto 4 della L.R. del 21.02.1995 n. 11 nonché per la disciplina delle modalità relative alla presentazione delle domande di autorizzazione all'esercizio delle attività di smaltimento ai sensi dell'articolo 20 punto 1 della L.R. del 21.02.1995 n. 11* - redatto dal Servizio Ambiente della Provincia di Genova;
- D. Lgs. 13.01.2003 n. 36 (*Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti*);
- D.M. Ambiente e Tutela del Territorio 03.08.2005 (*Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica*);
- D. Lgs. 03.04.2006 n. 152 (*Norme in materia ambientale*).

B. norme tecniche

- D.M. Infrastrutture 14.01.2008 (*"Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"*);
- Ministero delle Infrastrutture - Circolare Applicativa 02.02.2009 n.617 *("Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008").*

C. norme di pianificazione del territorio e vincoli

- Piano di Bacino del T. Lavagna, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 29 del 09.04.2002 e modificato con D.G.P n. 139 del 27/04/200: i) la carta di dettaglio dei movimenti franosi non evidenzia alcun elemento significativo; ii) la carta della pericolosità o suscettività al dissesto classifica il territorio in classe bassa; iii) la carta del rischio indica che il terreno è classificato in una zona a rischio molto basso R0; iv) la carta dei regimi normativi indica che la zona ricade in VI-MA-B versante non insediato-regime di mantenimento di tipo B (FIGURA 2).

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-AMBIENTALE

L'area oggetto di studio, ubicata in una porzione di territorio a valle della Strada Provinciale n. 19 di Lumarzo, occupa un ristretto settore dell'alto bacino del Rio di Lumarzo esposto a settentrione, sul versante orografico destro del T. Lavagna, in una fascia altitudinale compresa tra 350 m e 485 m s.l.m.

L'intervento è individuabile nella C.T.R. alla scala 1:5000 Foglio n. 214142 Uscio, il cui stralcio, riportato nell'allegata corografia (FIGURA 1), è stato utilizzato per la redazione della carta geologico-geomorfologica (FIGURA 3), mentre per gli elaborati a scala di progetto è stato fatto riferimento al rilievo topografico della zona di discarica redatto dal geom. Agostino Cuneo.

Il bacino idrografico del Rio di Lumarzo si sviluppa dalla displuviale che del M. Conietti (408 m s.l.m.), attraverso il M. Serro (582 m s.l.m.), prosegue in direzione SW fino al M. Cornua (680 m s.l.m.) che occupa l'estremo limite meridionale del bacino stesso. A partire da questa vetta la linea spartiacque piega in direzione WSW fino al M. Becco (894 m s.l.m.) e quindi in direzione N verso il M. Bado (911 m s.l.m.), che rappresenta il punto più elevato dell'intera serie di crinali.

Da questo punto la displuviale piega decisamente in direzione NE verso il fondovalle, attraverso l'allineamento M. Cionci (597 m s.l.m.) M. delle Scagge (511 m s.l.m.) e M. Lavagetto (476 m s.l.m.).

La morfologia del versante, nel tratto compreso fra M. Cornua e il T. Lavagna, si può sostanzialmente identificare in un pendio abbastanza uniforme, con limitate variazioni di acclività.

L'area in esame, nella sua configurazione naturale, presenta buone condizioni di stabilità, in virtù di una copertura generalmente modesta e di roccia affiorante "massiva", che favorisce il ruscellamento superficiale delle acque e lo scorrimento delle stesse verso le incisioni vallive naturali.

L'area è caratterizzata da ampi settori boschivi e solo marginalmente, nella porzione sommitale prossima alla strada provinciale, sono presenti terrazzamenti presidiati da muri a secco di contenimento, in condizioni di abbandono, che hanno comportato lo sviluppo incontrollato della vegetazione.

Un'estesa porzione del pendio è stata intensamente rimaneggiata dalla presenza dell'attuale corpo di discarica, che ha comportato sversamento di consistenti volumi di materiali inerti.

Al contorno del perimetro della zona di accumulo di inerti la presenza di una coltre seppure modesta di materiali sciolti, superficialmente ricchi di contenuto organico, favorisce lo sviluppo della vegetazione d'alto fusto, conferendo all'area una destinazione boschiva nettamente prevalente.

Per quanto riguarda gli aspetti meteoclimatici dell'area in esame, la particolare posizione geografica del comprensorio comporta un clima di tipo mediterraneo, con estate calda e inverno molto mite, in cui si manifestano tendenze di transizione al clima submediterraneo quanto più ci si allontana dal mare, ci si eleva in altitudine e muta l'esposizione dei versanti.

In questo settore l'influenza mitigatrice del mare è considerevolmente ridotta e, sui versanti esposti a nord come quello in esame, anche il tempo d'insolazione, che è limitato, contribuisce a ridurre la temperatura media atmosferica che, sulla base dei dati registrati presso la stazione climatica più vicina (Colonia Arnaldi), risulta pari a circa 12,6 °C: i mesi più caldi risultano luglio e agosto (20,6 °C e 20,5 °C) i più freddi gennaio e febbraio (5,4 °C e 5,5 °C).

I dati meteoclimatici, e in particolare i valori di precipitazione, sono estremamente significativi nel quadro idrologico dei deflussi superficiali e sotterranei che raggiungono la loro massima intensità in occasione di eventi eccezionali, che si verificano preferenzialmente nell'arco di pochi giorni, più frequentemente durante i mesi autunnali e in subordine nel tardo inverno e in primavera.

A questo scopo sono stati presi in considerazione nuovamente i dati pluviometrici registrati presso la stazione di misura di Colonia Arnaldi: l'altezza di precipitazione media annua è pari 1888 mm, il massimo assoluto si verifica nei mesi autunnali (ottobre-novembre) e un minimo assoluto in estate, in particolare nel mese di luglio: gli eventi eccezionali sono concentrati nell'arco di pochi giorni, preferenzialmente nei mesi autunnali con media mensile più elevata 242,1 mm a novembre.

3. GIUSTIFICAZIONE DELL'INTERVENTO

L'impianto in oggetto è stato autorizzato come discarica di rifiuti inerti; pertanto i materiali da utilizzarsi in fase di abbancamento, finalizzato all'ampliamento areale e volumetrico e alla conseguente riprofilatura del versante, deriveranno sia da opere di demolizione di manufatti edilizi e di muri di contenimento, in calcestruzzo o pietrame, sia da operazioni di scavo in terreno naturale o in roccia: gli apporti esterni saranno limitati quindi a materiali classificabili come inerti.

La discarica in località Calcinara risulta essere uno dei pochi impianti di questo tipo autorizzati in Provincia di Genova e costituisce un sito di riferimento per i cicli lavorativi legati principalmente alle attività edilizie per il Golfo Paradiso e per la Val Fontanabuona ed in subordine per il Golfo Tigullio, a servizio quindi di numerosissimi comuni costieri e montani.

Essendo completate le opere di messa in sicurezza del piede della discarica esistente il quantitativo giornaliero di materiali di risulta previsto per i lavori di completamento ammonta a circa 165 m^3/giorno.

Considerando un numero medio di giorni lavorativi pari a 200 giorni/anno, si ottiene un quantitativo annuale di rifiuti speciali inerti pari a 33.000 m^3/anno.

Sulla base di tali previsioni l'ampliamento previsto, che determina una potenzialità di 200.000 m^3, è in grado di soddisfare le necessità produttive, a pieno regime, per un periodo di circa 6 anni.

Nel computo delle volumetrie totali sono inclusi i materiali necessari per la sistemazione definitiva dei piani che ammonta a circa 20.000 m^3.

Le quantità indicate devono essere sommate a quelle già autorizzate che ammontano a 245.000 m^3 complessivi di cui 200.000 m^3 originariamente autorizzati e 45.000 m^3 necessari per le opere di messa in sicurezza del piede, per complessivi 245.000 m^3 già in discarica.

Le volumetrie in gioco sono significative ma il completamento previsto facilita le operazioni di sistemazione finale e il raggiungimento di un assetto definitivo che favorisce l'impianto vegetazionale controllato e un migliore inserimento dal punto di vista paesaggistico.

4. PROFILO GEOLOGICO

Sulla base di quanto osservato sul terreno ed in accordo con la cartografia ufficiale (Servizio Geologico Italiano: Foglio 83 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 "*Rapallo"* 1968), il terreno di riferimento è costituito dalla Formazione di Val Lavagna, rappresentata da argilliti scistose, localmente siltose, di colore grigio-scuro, con intercalazioni di arenarie e calcareniti fini con patine di ossidazione diffuse.

La cartografia tematica regionale (C.A.R.G. Regione Liguria, 2005 in scala 1:25.000 Tav. 214.3 Bargagli) seppur coincidente nelle linee essenziali con la precedente cartografia ufficiale dal punto di vista litologico, dal punto di vista formazionale si discosta nettamente in quanto attribuisce i terreni investigati alla Formazione delle Argilliti di Montanesi, costituite da argilliti emipelagiche nere ferromanganesifere dotate di diffusa fissilità lastroide e con intercalazioni di arenarie torbiditiche quarzose fini, molto tenaci (quarzoareniti) in strati da sottili a medi.

Diversi affioramenti del basamento roccioso di natura argillitica sono visibili lungo la S.P. n.19 che collega il Comune di Uscio con il Comune di Lumarzo: i piani di stratificazione presentano immersione complessiva verso SW e angoli d'inclinazione compresi fra 30° e 60° sul piano orizzontale, assumendo un assetto giaciturale rispetto al versante a traverpoggio con tendenza a reggipoggio.

Nel settore a monte dell'area di discarica e della S.P. n. 19 affiorano i litotipi appartenenti alla Formazione del Fysch di M. Antola costituita da calcari marnosi, marne calcaree, calcareniti e argilliti, disposti in strati di potenza variabile, anche nell'ordine del metro, di colore grigio scuro se freschi e grigio chiaro nelle normali condizioni di alterazione.

Sulla base dell'osservazione degli affioramenti rocciosi visibili lungo la S.P. n. 67, si è constatato che le litologie più rappresentative sono i livelli calcareo-marnosi di spessore pluridecimetrico, intervallati da sottili e abbondanti strati argillitici fittamente lamellari.

Il Flysch di M. Antola è sovrascorso sulla sottostante Formazione di Val Lavagna: il contatto di natura tettonica tra le due formazioni, presente a monte della discarica, passa poco a valle rispetto alla S.P. n. 67 del M. Fasce, seguendone lo sviluppo lineare e assumendo un andamento subverticale in profondità, con assetto a reggipoggio rispetto al pendio.

Per quanto attiene all'ammasso roccioso di natura argillitica, le condizioni di conservazione osservate in corrispondenza degli spaccati naturali e artificiali appaiono piuttosto variabili: in prossimità del contatto tettonico lo stato fessurativo e conseguentemente l'alterazione legata agli agenti esogeni sono marcati, mentre altrove, soprattutto lungo i crinali secondari che delimitano a occidente e oriente la discarica attuale, i sistemi di fratturazione sono poco pervasivi e comportano fenomeni di alterazione molto modesti e limitati ai livelli superficiali.

Dal punto di vista tettonico, sono da evidenziare almeno due famiglie di faglie ad andamento NE-SW e SSE-NNW che si intersecano e danno luogo al reticolo idrografico che appare ben sviluppato; presso la zona di stretto interesse, tuttavia, non si osservano dislocazioni significative del substrato roccioso in posto. In ampi settori del territorio investigato, adiacenti alla zona di discarica, il substrato roccioso risulta mascherato anche dalla presenza di coltri detritiche di potenza significativa e di notevole sviluppo areale.

5. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Dal punto di vista geomorfologico (FIGURA 3), si osserva innanzitutto un netto contrasto di pendenza nell'ambito della porzione di versante in esame, in stretta relazione alla presenza di coperture sciolte, di origine naturale o antropica; la zona di ubicazione della discarica esistente e oggetto di completamento è caratterizzata da un'acclività media del 40%, che tende a diminuire marginalmente, anche in modo significativo.

In corrispondenza della fascia assiale delle dorsali che delimitano la discarica, lungo alcuni tratti del corso d'acqua principale e a monte della S.P. n. 19, il substrato roccioso è localmente affiorante o subaffiorante ed è caratterizzato, come detto, da condizioni di conservazione variabili, in rapporto allo stato di fratturazione e alterazione superficiale.

Le coltri di origine detritico-colluviale di potenza significativa sono variamente distribuite: si tratta di coperture in genere poste nei settori mediani e concavi dei versanti, in minima parte rimaneggiate a terrazzamenti presidiati da muri a secco, il cui stato è tuttavia scadente, come testimoniato dai diffusi crolli, deformazioni e cedimenti delle strutture.

I terreni naturali di copertura, che derivano dai processi di alterazione del basamento roccioso, in prevalenza di natura argillitica, e dal loro trasporto per azione delle acque correnti, presentano un fuso granulometrico ben gradato con dominante frazione fine di natura limoso-argillosa, con subordinata percentuale, anche se localmente significativa, di scheletro lapideo.

Come già esposto, la porzione di versante interessata dallo sversamento dei materiali nell'attuale discarica presenta un'evidente variazione morfologica del profilo del pendio, in relazione alla potenza dei materiali di riporto, che localmente raggiunge anche 10-15 m. La granulometria degli inerti, come si può facilmente constatare, è grossolana e rappresentata da blocchi e ghiaia, in abbondante matrice sabbioso-limosa.

I rilevamenti di superficie e i risultati delle campagne geognostiche condotte a più riprese nell'area consentono di affermare che un adeguato spessore di terreno naturale caratterizza gran parte del comparto in oggetto, sia in corrispondenza della fascia assiale dell'attuale corpo di discarica sia nella parte sottostante: si tratta di una copertura avente potenza variabile da 1.0-1.5 m fino a 3.0 m, costituita da un'elevata componente fine che determina idonee caratteristiche di barriera naturale di confinamento.

Nei settori marginali, posti ad E e a NW rispetto all'accumulo di inerti esistente, dove la roccia è in genere affiorante e/o subaffiorante con coperture molto sottili, come già accennato, lo stato di conservazione dell'ammasso roccioso appare da discreto a buono, non avendo riscontrato sistemi di macro-fessurazione o fratture di rilevanza tale da favorire la circolazione idrica in profondità.

Alla luce di tutti i dati disponibili, sia di superficie sia di profondità, si ritiene che il contesto geomorfologico originario sia improntato a condizioni di stabilità generale, in quanto i crinali che limitano ai lati il corpo di discarica, interessati morfologicamente da un'ossatura litologica con assetto favorevole, tendono a convergere verso valle, creando una bastionatura che è in grado di facilitare per lungo tratto lo sbarramento al piede dei materiali inerti (in ogni caso adeguatamente consolidato attraverso più ordini di scogliere in massi).

6. ELEMENTI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI

Nell'area in esame lo schema dei deflussi superficiali è piuttosto articolato in funzione dell'intensa attività di rimaneggiamento che ha caratterizzato il comparto: il bacino idrografico d'interesse fa comunque riferimento al Rio di Lumarzo, che scorre in direzione SW-NE e che svolge azione di drenaggio delle acque provenienti dal versante in questione.

Le due strade provinciali che si snodano a monte della sede della discarica rappresentano efficaci vie di intercettazione delle acque superficiali, funzionando da canali di gronda per i deflussi idrici provenienti dai versanti, che sono così convogliati, per la parte preponderante, nel sistema di smaltimento principale, costituito dal Rio Larneo, posto al margine orientale del corpo di discarica.

Nello stesso corso d'acqua sono stati immessi artificialmente i deflussi provenienti dalla zona a monte della S.P. n. 19, relativi al Rio dei Proetti e al Rio Cugnee, attualmente coperti, salvo un limitato tratto terminale, dal corpo di discarica esistente: l'opera idraulica, costituita da uno scatolare in cls., si sviluppa in fregio al piazzale superiore della discarica, parallelamente alla suddetta strada provinciale.

In condizioni di normale piovosità, nella porzione di territorio in studio avviene quindi un ruscellamento diffuso esclusivamente per le acque che precipitano direttamente sul corpo di discarica; i fenomeni erosivi di una certa rilevanza nei settori non sistemati sono limitati ai periodi caratterizzati da precipitazioni intense e di breve durata e interessano zone non adeguatamente presidiate da adeguato impianto vegetazionale e da opere di ingegneria naturalistica.

Un'alimentazione idrica sotterranea, di rilevanza molto modesta e che si verifica solamente durante le piogge intense, può avvenire a seguito dell'azione di drenaggio naturale svolta dai suddetti corrivi interrati (Rio dei Proetti e Rio Cugnee) che, seppure non più alimentati da monte da contributi idrici superficiali, possono essere interessati da contributi in profondità, prevalentemente temporanei, lungo l'alveo, non più efficace dal punto di vista idraulico, ma ancora attivo da quello idrogeologico.

Il quadro idrogeologico del comparto appare molto complesso in rapporto alla presenza di almeno tre orizzonti stratigrafici a differente conducibilità idraulica, che, dall'alto verso il basso, sono rappresentati da riporti, terreno naturale e basamento lapideo argillitico.

In chiave idrogeologica, il terreno naturale di copertura che caratterizza la porzione di pendio in oggetto può essere distinto a sua volta in due livelli sovrapposti in funzione del grado di rimaneggiamento subito, più consistente in superficie e quasi assente in profondità.

Nei riporti, caratterizzati da una granulometria prevalentemente grossolana, l'infiltrazione delle acque in profondità è facilitata da un coefficiente di permeabilità che deve essere considerato medio, mentre le sottostanti coperture naturali, a suo tempo superficialmente rimaneggiate, rientrano sempre nei materiali permeabili per porosità, ma con coefficienti bassi o molto bassi, in funzione della prevalente granulometria fine.

Il substrato roccioso di natura argillitica, sostanzialmente impermeabile in condizioni d'integrità, risulta limitatamente permeabile per fratturazione/fessurazione, esclusivamente nei livelli superficiali e nelle zone dove risulta in scadenti condizioni di conservazione.

A supporto di quanto affermato, le numerose prove di permeabilità effettuate in corrispondenza del livello di copertura sciolta naturale, condotte a supporto delle precedenti fasi progettuali, attestano una conducibilità idraulica molto bassa e tale da poter considerare questo orizzonte un efficace confinamento per le acque di circolazione che, attraverso i riporti soprastanti, raggiungono questo livello, soddisfacendo quanto richiesto dalla normativa vigente in merito alla protezione del terreno e delle acque (*D.Lgs. 36/2003*).

A sintesi di tutti i dati raccolti e con specifico riferimento alle stratigrafie ottenute con i sondaggi geognostici e alla misurazione dei livelli di falda nei piezometri installati nel periodo immediatamente successivo alla loro realizzazione, si può delineare lo schema idrogeologico che caratterizza la successione stratigrafica dei terreni investigati.

La porzione di versante esaminata, anche in funzione dell'assetto morfologico, è sede di una falda, libera di oscillare all'interno dei riporti nella porzione sommitale del comparto, mentre nella porzione basale del pendio si sviluppa all'interno del livello più superficiale e rimaneggiato della copertura sciolta, caratterizzato da un grado di conducibilità idraulica relativamente maggiore rispetto a quello dell'orizzonte naturale sottostante, non coinvolto dall'attività antropica.

Sulla scorta dei risultati dei sondaggi geognostici e del monitoraggio idrogeologico, oltre che dai rilevamenti effettuati, si ritiene che:

- nell'ambito della zona più depressa della valle interessata dalla discarica, dove, al di sotto dei riporti, sono presenti coperture naturali più potenti, il livello stratigrafico di riferimento come base dell'acquifero sia rappresentato dal passaggio tra un orizzonte superficiale e uno più profondo a differente grado di rimaneggiamento e conseguentemente di permeabilità;
- lungo le porzioni di versante limitrofe ai contrafforti morfologici che delimitano l'intero complesso di discarica, interessate dallo sversamento marginale di inerti, dove le coltri sciolte sono in genere sottili, la base dell'acquifero coincida con il tetto del basamento argillitico in posto, il cui stato di conservazione è tale da poter essere considerato impermeabile in condizioni di integrità e, localmente, poco permeabile negli orizzonti più alterati.

Le misurazioni della profondità della tavola d'acqua nel sottosuolo condotte nell'arco di un anno (2006-2007) hanno messo in luce una stretta correlazione tra l'escursione di falda e

gli eventi pluviometrici, con oscillazioni significative e repentine in concomitanza di precipitazioni di forte intensità e breve durata.

Sulla base dell'andamento delle isofreatiche in rapporto alla morfologia del versante (FIGURA 6), è possibile verificare che l'asse di drenaggio si sovrappone alla via di deflusso naturale (Rio Proetti) di cui si è trattato precedentemente e quindi il verso di scorrimento dell'acqua in profondità coincide con la linea di massima pendenza del versante.

L'alimentazione di questa falda è chiaramente legata agli apporti idrici che s'infiltrano direttamente nei riporti, mentre appaiono decisamente subordinati i contributi sotterranei. A questo proposito, si sottolinea che il contatto tettonico tra litotipi calcareo-marnosi sovrastanti e argillitici sottostanti non influisce sulla dinamica della falda, essendo collocato a una certa distanza a monte del sito e con assetto a reggipoggio rispetto al pendio.

Infine, il rilevamento sul terreno e le informazioni raccolte hanno consentito di escludere la presenza di pozzi o di altre derivazioni superficiali esistenti a valle della zona sede di realizzazione della discarica; è presente una sorgente a valle della S.P. n. 67, in corrispondenza dell'intersezione del contatto tettonico con la superficie topografica che, tuttavia, non comporta alcuna interferenza con il corpo di discarica in rapporto alla distanza e alla sua ubicazione planoaltimetrica sul versante.

Inoltre, nell'intero comparto oggetto di intervento ed in un congruo intorno non sono presenti aree carsiche, così come individuate dalla L.R. 03.04.1990 n. 14 (*Norme per la tutela e la valorizzazione del patrimonio speleologico e delle aree carsiche e per lo sviluppo della speleologia*), in relazione al substrato roccioso di riferimento di natura argillitica.

7. INDAGINI E PROVE IN SITO

Nelle precedenti fasi progettuali connesse con l'adeguamento del corpo di discarica alla normativa vigente (2006) e alla messa in sicurezza e alla bonifica ambientale (2007), sono state condotte, a completamento delle attività di rilevamento di superficie, una serie di indagini dirette e prove in sito, con lo scopo di determinare il profilo stratigrafico dell'area interessata dall'intervento in progetto e le caratteristiche idrogeologiche dei terreni di copertura (FIGURA 4).

7.1. APPROFONDIMENTI CONDOTTI NEL 2006

Nel mese di settembre 2006 sono stati eseguiti all'interno del corpo di discarica n. 3 sondaggi a rotazione ad asse verticale con recupero continuo di materiale; le prospezioni, identificate con S1-S3 ed ubicate come riportato nella FIGURA 4, sono state spinte a una profondità compresa tra 13.0 m e 22.0 m dal p.c., per complessivi 55.0 m.l. di perforazione.

In alcuni tratti del foro di perforazione sono state eseguite prove geotecniche in sito tipo S.P.T. in avanzamento e n. 3 prove di permeabilità tipo Lefranc in abbassamento.

Ciascun foro è stato condizionato con tubi piezometrici di diametro pari a 3" al fine di effettuare misure delle pressioni neutre e garantire la possibilità di prelevare campioni di acqua per eventuali analisi chimiche.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite n. 4 prove penetrometriche dinamiche con strumentazione standard delle quali n. 3 nei materiali di discarica e n.1 nel terreno sciolto naturale. I risultati ottenuti sono sinteticamente rappresentati nella tabella seguente ed evidenziano l'estrema eterogeneità dei materiali di discarica:

Sondaggio n.	Materiale	Profondità da p.c. in m	n. colpi/piede
S1	Mat. discarica	6.80	29
S2	Mat. discarica	4.50	11
S3	Mat. discarica	10.0	41
S3	Terreno naturale	17.0	16

Allo scopo di ottenere informazioni relative alle caratteristiche idrogeologiche dei materiali investigati, sono state condotte nei rispettivi sondaggi n. 3 prove di permeabilità secondo la normativa A.G.I. (1977) con il metodo "Lefranc" a carico variabile, avendo come riferimento il passaggio tra riporti e terreni sciolti costituenti il fondo naturale (barriera geologica). I risultati ottenuti indicano valori del coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-7} m/s; per il dettaglio delle indagini svolte si rimanda all' ALLEGATO 2.

7.2. APPROFONDIMENTI CONDOTTI NEL 2007

La campagna geognostica effettuata a supporto dell'intervento di messa in sicurezza e bonifica ambientale del corpo di discarica iniziata in data 15/05/07 e terminata in data 13/09/07, è consistita nella realizzazione di:

- n. 5 fori ad asse verticale e a carotaggio continuo, denominati rispettivamente P1-P5 dei quali n. 3 completati con tubo piezometrico da 3" (P1, P4 e P5),
- di n. 1 sondaggio ad asse verticale I1, eseguito a distruzione di nucleo fino alla profondità di 9.0 m da p.c. poi completato a carotaggio continuo fino a 22,0 m da p.c. e attrezzato con tubo inclinometrico in ABS;
- n. 15 prove geotecniche in sito con strumentazione Standard;
- n. 5 prove di permeabilità di tipo Lefranc.

I dettagli delle singole indagini sono riportate nell' ALLEGATO 3.

7.2.1. Sondaggi geognostici

Come accennato in precedenza, sono stati eseguiti n. 5 sondaggi a rotazione ad asse verticale con recupero continuo di materiale: tali prospezioni, ubicate come indicato in FIGURA 4, hanno raggiunto profondità variabili da 8 m (sondaggio P5) a 12.3 m (sondaggio P1) dal p.c..

A fianco del sondaggio P1, è stata realizzata inoltre una perforazione ad asse verticale eseguita a distruzione di nucleo fino alla profondità di 9.0 m da p.c. e a rotazione con carotaggio continuo fino alla profondità di 22.0 m da p.c., finalizzata all'installazione della strumentazione necessaria per il monitoraggio geotecnico del corpo di discarica mediante misure inclinometriche.

Le prospezioni hanno permesso di constatare direttamente l'assetto stratigrafico del comparto in oggetto e di confrontarlo con i dati relativi al sottosuolo ottenuti nella precedente campagna di indagini geognostiche:

- nella zona posta a quote più basse, in prossimità del tratto non coperto del Rio dei Proetti (P5), la sequenza stratigrafica prevede la presenza di terreno sciolto rimaneggiato costituito da limo argilloso con sabbia e subordinati frammenti lapidei di dimensione centimetrica; questo livello, di potenza variabile fino a circa 2.0 m, maschera il sottostante substrato roccioso di natura argillitica fratturato e alterato, passante a migliori condizioni di conservazione in profondità;

- i sondaggi eseguiti al piede del corpo di discarica (P2, P3 e P4) hanno evidenziato la presenza di un livello di riporto, di potenza variabile fino a circa 6 m, costituito da breccia grossolana e scaglie lapidee in matrice sabbioso-limosa, a cui segue un orizzonte di terreno naturale costituito da argilla limosa con ghiaia di spessore compreso tra 2.0 m e 3.0 m. Il substrato roccioso in condizioni di conservazione variabili è stato rilevato a profondità di 9.7 m (P2), 6.0 m (P3) e 7.0 m (P4) da p.c.

- i sondaggi eseguiti in corrispondenza del settore sommitale della discarica (P1, I1) prevedono la sovrapposizione al basamento lapideo di natura argillitica di un livello di potenza plurimetrica rappresentato da riporto costituito da ghiaia, scaglie lapidee e frammenti di laterizi di dimensione centimetrica, immersi in abbondante matrice limoso-argilloso-sabbiosa.

Per quanto attiene agli aspetti idrogeologici, durante le fasi di perforazione (FIGURA 6) sono state condotte misurazioni del livello idrico nel sottosuolo. Le profondità della tavola d'acqua, in alcuni casi alterata dalle lavorazioni in atto, sono elencate nella tabella seguente:

Sondaggio	***Data***	***Soggiacenza falda dal p.c. (m)***
P1	15/05/07	3.30
P2	11/09/07	5.65
P3	12/09/07	5.80
P4	13/09/07	2.27
P5	13/09/07	1.88
I1	04/09/07	15.73

7.2.2. Prove geotecniche in sito

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite n. 15 prove penetrometriche dinamiche con strumentazione standard, delle quali n. 9 nei riporti e n. 6 nel terreno naturale; in questo livello, data la difficoltà a riconoscere con sicurezza il passaggio stratigrafico, non è stato possibile eseguire, in ragione di uno spessore ridotto, un numero maggiore di prove. I risultati ottenuti sono sinteticamente riportati nella tabella seguente:

Sondaggio n.	***Profondità prova (m da p.c.)***	***N SPT rilevato***
P2-1	1.50-1.95	4
P2-2	3.10-3.55	4
P2-3	4.50-4.95	5
P2-4	6.00-6.45	2
P2-5	7.50-7.95	15
P2-6	9.10-9.55	7
P3-1	1.50-1.95	4
P3-2	3.30-3.75	3
P3-3	4.50-4.95	7
P3-4	6.00-6.05	50
P4-1	1.50-1.95	3
P4-2	3.00-3.45	5
P4-3	4.50-4.95	3
P4-4	6.00-6.45	3
P5-1	1.50-1.95	7

Il quadro geotecnico ottenuto dal confronto con i dati relativi alla campagna geognostica del 2007 e quelli della serie di prospezioni del 2006 indica la presenza, in corrispondenza della zona sommitale della discarica, di materiali più grossolani e maggiormente addensati, mentre al piede della zona autorizzata i valori di SPT indicano materiali sciolti con grado di addensamento più basso.

7.2.3. Prove di permeabilità

Allo scopo di ottenere informazioni relative alle caratteristiche idrogeologiche dei materiali investigati, sono state condotte n. 5 prove di permeabilità secondo la normativa A.G.I. (1977) con il metodo “Lefranc” a carico variabile, avendo come riferimento il passaggio stratigrafico tra riporti e terreni sciolti costituenti il fondo naturale (barriera geologica); le risultanze delle prove di permeabilità in sito sono riportate in ALLEGATO 3.

Le suddette prove, concordi con quelle già realizzate nel mese di settembre 2006, hanno confermato una permeabilità piuttosto omogenea dei terreni naturali non interessati dall’attività di rimaneggiamento, che presentano generalmente un coefficiente di permeabilità k compreso tra 10^{-5} cm/s e 10^{-6} cm/s (rispettivamente 10^{-7} m/s e 10^{-8} m/s).

Si ritiene che i valori ottenuti siano coerenti con il fuso granulometrico accertato con le indagini geognostiche descritte. Il comportamento idrogeologico dei terreni può quindi essere descritto come segue:

- i riporti, data la loro natura e il rimaneggiamento subito, si devono ritenere terreni permeabili per porosità, con coefficienti medio-elevati, tra 10^{-4} e 10^{-5} m/s (10^{-2}-10^{-3} cm/s);
- il terreno naturale non rimaneggiato, che mostra granulometria ben gradata, con presenza significativa di terre a grana fine, si deve ritenere un mezzo debolmente permeabile per porosità, con coefficienti bassi (come detto tra 10^{-7} e 10^{-8} m/s equivalenti a 10^{-5} -10^{-6} cm/s);

- il substrato roccioso, stante la natura argillitica, si deve ritenere completamente impermeabile in condizioni d'assoluta integrità; in considerazione del livello di fratturazione e alterazione acquisito, può diventare localmente permeabile per fessurazione, limitatamente allo strato di alterazione superficiale, senza però dare origine a vene di circolazione sotterranea.

7.2.4. Monitoraggio idrogeologico

Alcuni fori ottenuti con i sondaggi geognostici sono stati condizionati con tubi in PVC microfessurato con diametro da 3" per il monitoraggio della falda: i livelli idrici misurati sia nei tubi installati nella precedente campagna geognostica (S1, S2, S3), sia nel periodo successivo all'installazione dei piezometri indicano la presenza di una falda i cui livelli sono riportati nel seguente prospetto:

Sondaggio n.	*SOGGIACENZA DELLA FALDA (m di profondità dal p.c.)*				
	11.09.2006	**22.09.2006**	**18.09.2007**	**02.10.2007**	**14.11.2007**
S1	12.30	12.40	13.45	13.42	-
S2	20.20	19.52	20.40	-	20.00
S3	-	18.31	rotto	rotto	rotto
P1			-	-	-
P4			1.80	1.56	2.20
P5			1.90	2.00	1.95

L'analisi dei dati ottenuti durante il monitoraggio condotto mostra come l'acquifero presenti oscillazioni in funzione del regime pluviometrico e che sia quindi legato agli apporti idrici derivanti dalle precipitazioni meteoriche che s'infiltrano direttamente nei riporti dell'attuale discarica o che limitatamente scorrano, per contrasto di permeabilità, lungo l'interfaccia tra i terreni naturali ed il substrato roccioso.

8. ASSETTO STRATIGRAFICO E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI MEDI

Sulla base dei rilevamenti di superficie, unitamente ai risultati ottenuti con tutte le indagini e prove in sito condotte nelle differenti fasi progettuali, è stato definito un profilo stratigrafico medio del settore oggetto di intervento.

Nelle FIGURE 5A e 5B sono riportate n.2 sezioni stratigrafiche interpretative ricostruite sulla base degli elaborati forniti dal progettista, al fine di consentire l'immediata comprensione dei rapporti geometrici tra gli orizzonti di seguito descritti.

Il profilo stratigrafico proposto prevede la sovrapposizione dall'alto verso il basso dei riporti alla copertura naturale e quindi al basamento lapideo; sulla profondità del bedrock e sullo spessore dei terreni sciolti sono riferite le FIGURE 7- 8.

Sono di seguito attribuiti ai livelli individuati i parametri geotecnici e geomeccanici medi, desunti dai risultati ottenuti con le indagini condotte nel comparto di studio unitamente all'esperienza personale maturata su terreni e ammassi rocciosi analoghi.

8.1. RIPORTI

Presenti su tutta l'area con spessori variabili e accertati fino ad almeno 17 m, risultano costituiti da ghiaia, ciottoli, scaglie lapidee, laterizi in matrice sabbioso-limosa, talora debolmente argillosa.

Per quanto attiene alle caratteristiche di resistenza al taglio si evidenzia che tale materiale, originato dall'accumulo lungo il versante e dalla successiva compattazione con mezzi meccanici, presenta un assortimento granulometrico in cui anche la frazione fine è influente sul comportamento meccanico del mezzo.

In termini di resistenza al taglio le discariche di inerti prevalentemente grossolani, pur ascrivibili a materiali caratterizzati solo da un angolo di attrito interno, non possono essere assimilate a un terreno continuo (es. sabbia, dove la dimensione del granulo è infinitamente più piccola rispetto alla dimensione del pendio) a cui può essere applicata l'analisi all'equilibrio limite.

La dimensione costitutiva dei materiali obbliga a considerare ai fini della resistenza al taglio anche il contributo legato al mutuo incastro fra gli elementi, permanendo logicamente anche l'effetto dell'attrito lungo le superficie di contatto.

L'inviluppo a rottura in ammassi caotici come quello in esame prevede un andamento non rettilineo dipendente dal livello tensionale normale e presuppone l'introduzione di una coesione intercetta (Panei et al., 2000).

A parità di ogni altra condizione la resistenza a taglio di picco dei materiali di cui trattasi è dipendente dal livello tensionale normale; in una stessa discarica l'angolo di attrito può quindi variare tra 35° e 60° in relazione allo spessore dei materiali agenti nel punto di interesse (Barton, 1980; Barton & Kjaernsli, 1981; Barton, 2008).

I risultati tipici di prove triassiali su accumuli detritici di natura lapidea, assimilabili al materiale abbancato nella discarica in oggetto, sono caratterizzati da un inviluppo a rottura curvilineo esprimibile con una relazione del tipo:

$$\tau = A\,\sigma\,B$$

ove A e B sono delle costanti caratteristiche del materiale interessato e tali per cui la legge analitica possa adattarsi alla curva d'inviluppo sperimentale, mentre σ è la tensione normale sul piano di rottura; ovviamente, tale procedimento presuppone ed ammette l'introduzione di una coesione fittizia.

In TABELLA 7 è riportato in forma grafica l'inviluppo a rottura per tensioni litostatiche normali fino a 500 kPa. L'espressione ricavata per via sperimentale può essere introdotta in un codice di calcolo per la stabilità all'equilibrio limite e si può così determinare il coefficiente di sicurezza associato alle superficie di rottura virtuali considerate.

Nel caso tipo è stato considerato un valore di tensione litostatica di 350 kPa, la linearizzazione dell'inviluppo curvilineo descritto in precedenza ha consentito di determinare una coesione intercetta di 30-40 kPa e un angolo di attrito di 35°.

Tuttavia, al fine di operare a favore di sicurezza e rappresentare al meglio le condizioni del materiale abbancato per basse tensioni litostatiche i parametri di resistenza del mezzo sono stati ricavati da specifiche prove di laboratorio su materiali analoghi (Studio Associato di Geologia Tecnica & Ambientale, 2010), che hanno consentito, coerentemente a quanto

riportato in precedenza, di stimare un valore di angolo di attrito efficace compreso fra 33° e 34° e una coesione c' pari a 11,2 kPa.

Quest'ultimo valore medio ricalcolato come parametro caratteristico si riduce, come esplicitato nel prosieguo della trattazione, a 3,83 kPa, valore praticamente trascurabile.

I valori relativi all'angolo di attrito appaiono giustificati anche dai risultati ricavati dalle prove penetrometriche standard, condotte direttamente sui materiali abbancati nelle precedenti fasi progettuali. In questo caso i valori del numero di colpi/piede sono stati utilizzati per la determinazione della densità relativa e dell'angolo d'attrito efficace (ALLEGATO 2): per la valutazione dello stato d'addensamento sono state applicate le formulazioni di Gibbs/Holtz e di Schultze/Mezembach, mentre per l'angolo di resistenza al taglio sono state utilizzate le formulazioni di Schmertmann valide per sabbia fine e per sabbia media uniforme.

Con tali metodologie per i materiali di discarica si ritiene verosimile assumere un peso di volume in condizioni naturali compreso tra 19-20 kN/m^3, mentre per quanto riguarda l'angolo d'attrito efficace sono stati ottenuti valori di picco tra 32° e 38°.

8.2. TERRENO NATURALE

Al di sotto del materiale di riporto è presente la copertura naturale, costituita da un terreno a granulometria gradata, intensamente rimaneggiato in superficie; la potenza media di tale orizzonte è variabile: lungo l'asse della vallecola raggiunge potenze fino a circa 3.0-3.5 m, mentre in corrispondenza dei versanti laterali lo spessore è minimo.

Questi terreni non sono facilmente ascrivibili a una tipologia geotecnica definita, stante la presenza significativa di frazione fine e le caratteristiche di plasticità e permeabilità; si ritiene più corretto assimilare il materiale a un mezzo a grana fine.

Per la valutazione dei parametri geotecnici del terreno naturale ci si è basati su dati bibliografici e sull'esperienza personale, in quanto si ritiene che, per le caratteristiche del materiale attraversato, ai valori ottenuti nelle prove SPT non siano applicabili le correlazioni proprie della vasta bibliografia esistente in materia.

Le proprietà indice delle coltri di versante che derivano da un substrato argillitico mostrano, in genere, limite liquido di 30-40, associato a valori medio-bassi dell'indice plastico (12-20): adottando la carta di plasticità di Casagrande si possono ascrivere alla classe CL.

La densità secca è stimata di 14-15 kN/m^3, mentre in condizioni naturali, prossime alla saturazione, il peso di volume si attesta su valori oscillanti tra 17 kN/m^3 e 19 kN/m^3; per quanto attiene alla resistenza a taglio, si può indicare un valore dell'angolo d'attrito efficace tra 29° e 31°.

Eventuali analisi d'ingegneria geotecnica nel breve termine devono essere condotte adottando una resistenza al taglio in condizioni non drenate variabile in funzione della tensione litostatica efficace secondo la seguente relazione: $S_U/\sigma'_{V0} = 0.2\text{-}0.4$.

8.3. CAPPELLACCIO D'ALTERAZIONE

Il cappellaccio di alterazione del substrato roccioso presenta generalmente scarsa rilevanza stratigrafica, tuttavia, al fine di affinare le successive verifiche di stabilità del corpo di discarica si è scelto di differenziarlo dal sottostante substrato roccioso strutturato,

attraverso specifiche valutazioni geomeccanico-strutturali sulle carote di sondaggio e adottando la metodologia proposta da MARINOS E HOEK (2000) che prevede l'utilizzo del Geological Strenght Index (G.S.I.).

Il concetto sviluppato dai due Autori è quello di combinare l'assetto strutturale dell'ammasso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano, in modo da arrivare a un valore indice che permetta il suo utilizzo per una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso.

Da quanto rilevato si è constatato che il substrato lapideo presenta una struttura molto fratturata (ammasso disturbato, con tre o quattro sistemi di famiglie di giunto) e condizioni dei giunti mediocri (giunti da lisci a leggermente rugosi e superficie moderatamente alterata) che hanno consentito di derivare un campo valore del G.S.I. compreso tra 34 e 36. Per quanto riguarda la resistenza alla compressione monoassiale, invece, è stato considerato un range di valori compreso tra 5 MPa e 15 MPa, in ragione dell'elevato stato di alterazione della matrice lapidea.

8.4. SUBSTRATO ROCCIOSO STRUTTURATO

Per quanto riguarda il substrato lapideo, i dati ottenuti con le campagne geognostiche, unitamente a quelli di carattere geostrutturale derivati dal rilevamento di superficie, si ritengono sufficienti a descriverne le caratteristiche geomeccaniche.

In analogia a quanto effettuato per il cappellaccio d'alterazione la definizione della qualità dell'ammasso roccioso è stata ricavata utilizzando l'indice GSI (Geological Strenght Index), nella più recente metodologia proposta da Hoek (2000) ottenuto dalla somma dei punteggi parziali dei primi quattro parametri che caratterizzano la classificazione di Bieniawski (1989) e mantenendo condizioni asciutte per il parametro relativo alle condizioni idrauliche (TABELLA 1).

Stando ai parametri parziali rilevati, esposti nella tabella seguente, si è ottenuto un campo valori del GSI tra 38 e 42.

Parametro	Descrizione	Valori
R1	Resistenza alla compressione monoassiale	5-25 MPa
R2	Recupero percentuale modificato	25%-50%
R3	Spaziatura tra i giunti	200-600 mm
R4	Condizioni dei giunti	persistenti, 0.1-1 mm, lisci, alterati

Si evidenzia che il risultato ottenuto appare coerente con quanto riportato per i vari tipi di rocce da Marinos e Hoek (2000) e in particolare nella classificazione delle rocce eterogenee come i Flysch, tipo E ed F (TABELLA 2).

9. DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI

Il valore caratteristico di un parametro si ottiene tramite una caratterizzazione dell'intera distribuzione statistica dei dati d'interesse mediante una stima puntuale a carattere cautelativo (modello semi-probabilistico). Tale stima è generalmente individuata da

un basso percentile, calcolato sulla distribuzione del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite.

Definire il valore caratteristico significa, pertanto, scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite e adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza.

In particolare, è stato scelto di adottare un metodo in cui la derivazione del valore caratteristico è definita sulla probabilità calcolata del 5% che ci sia un valore inferiore (più sfavorevole) che governa l'insorgere dello stato limite.

Nel caso in esame la definizione dei parametri caratteristici è stata ottenuta ricorrendo alla seguente formulazione, valida nel caso di stime statistiche in presenza di dati d'ingresso numericamente ridotti:

$$Nk = Nm \pm 1{,}645*COV/\sqrt{n})$$

dove:

- Nm = valore medio del parametro;
- COV= coefficiente di variazione corrispondente al rapporto tra la deviazione standard della popolazione e la media della popolazione;
- n= numerosità del campione

La definizione dei parametri caratteristici del materiale di riporto e della copertura sciolta è stata definita utilizzando i valori indicati in precedenza e riportati nella tabella seguente per pronto riferimento:

Unità	**Peso di Vol nat. (kN/m^3)**	**Ang. di attrito eff. (°)**	**Coesione dren. (kPa)**	**Modulo Elastico (MPa)**
Riporto	19-20	33-34	11,2	5-10
Terreno naturale	17-19	29-31	0	-

Per la stima statistica delle proprietà meccaniche del cappellaccio d'alterazione e dell'ammasso roccioso è stato utilizzato il programma di calcolo Rock-Lab, simulando il diverso stato di fratturazione variando i valori del G.S.I. (tra 34 e 36 per il cappellaccio e tra 38 e 42 per l'ammasso roccioso strutturato) e della resistenza alla compressione monoassiale (5 MPa e 15 MPa per il cappellaccio d'alterazione tra 5 MPa e 25 MPa per il substrato roccioso strutturato), indicati nei paragrafi precedenti. La sintesi di quanto ottenuto è riportata nelle tabelle sottostanti:

A) CAPPELLACCIO D'ALTERAZIONE

G.S.I.	Res. Compr. Monoass. (MPa)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito (°)	Modulo elastico (MPa)
34	5	31	26,94	80,1
34	15	64	38,55	240,3
36	5	33	27,93	88,24
36	15	69	39,61	264,72
Valori medi		49,25	33,26	168,34
Valori caratteristici		33,05	30,52	112,96
COV (%)		40	10	40

B) SUBSTRATO ROCCIOSO STRUTTURATO

G.S.I.	Res. Compr. Monoass. (MPa)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito (°)	Modulo elastico (MPa)
38	5	35	28,9	130,47
38	25	75	40,62	652,37
40	5	37	29,85	145,58
40	25	81	41,59	727,88
42	5	40	30,8	163,3
42	25	89	42,52	816,52
Valori medi		59,5	35,71	439,35
Valori caratteristici		43,52	33,31	321,33
COV (%)		40	10	40

10.VALORI DI PROGETTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI

La definizione dei parametri geotecnici di progetto è funzione dell'approccio scelto (Approccio 1 - Combinazione 2, oppure Approccio 2). Nella tabella sottostante sono derivati i parametri geotecnici di progetto da utilizzare nelle verifiche agli S.L.U. per i singoli approcci, applicando ai valori caratteristici i fattori correttivi M1 e M2 contenuti nella Tabella 6.2.II delle Norme Tecniche.

Unità lito	Parametro	Valore caratt.	M1	M2	Val.Prog Appr. 2	Val.Prog Appr. 1 - Comb.2
Materiale abbancamento	ρ'_k	29,6	1,00	1,25	29,6	24,44
	c' (kPa)	3,83	1,00	1,25	3,83	3,06
	$\gamma_{upp}(kN/m^3)$	20,63	1,00	1,00	20,63	20,63
	$\gamma_{lower}(kN/m^3)$	18,37	1,00	1,00	18,37	18,37
	E (MPa)	4,01	-	-	-	-
Copertura naturale	ρ'_k	26,51	1,00	1,25	26,51	21,75
	c' (kPa)	0	1,00	1,25	0	0
	$\gamma_{upp}(kN/m^3)$	19,05	1,00	1,00	19,05	19,05
	$\gamma_{lower}(kN/m^3)$	16,95	1,00	1,00	16,95	16,95
Cappellaccio d'alterazione del substrato roccioso						
	ρ'_k	30,52	1,00	1,25	30,52	25,25
	c' (kPa)	33,05	1,00	1,25	33,05	26,44
	σ_c (MPa)	5,35	1,60	1,60	3,34	3,34
	$\gamma_{upp}(kN/m^3)$	26,98	1,00	1,00	26,98	26,98
	$\gamma_{lower}(kN/m^3)$	24,02	1,00	1,00	24,64	24,02
	E (MPa)	112,96	-	-	-	-
Substrato roccioso	ρ'_k	33,31	1,00	1,25	33,31	27,74
	c' (kPa)	43,52	1,00	1,25	43,52	34,81
	σ_c (MPa)	8,02	1,60	1,60	5,01	5,01
	$\gamma_{upp}(kN/m^3)$	26,98	1,00	1,00	26,98	26,98
	$\gamma_{lower}(kN/m^3)$	24,02	1,00	1,00	24,02	24,02
	E (MPa)	321,33	-	-	-	-

La sintesi di tutti i dati geotecnici elaborati per le diverse unità litotecniche è riportata nelle TABELLE 3-4-5-6.

Relativamente alle verifiche agli SLE per opere e i sistemi geotecnici (SLE-GEO), ovvero il raggiungimento di valori critici di spostamenti e rotazioni, assoluti e/o relativi, e distorsioni tali da poter compromettere la funzionalità dell'opera, è richiesto l'utilizzo dei valori caratteristici.

Per quanto riguarda la stabilità della discarica nella sua configurazione finale si rimanda alle verifiche condotte nella relazione geotecnica.

11. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Secondo quanto contenuto nelle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, a livello progettuale è necessario controllare il grado di danneggiamento dell'impianto realizzato a fronte dei terremoti che si possono verificare nel sito in oggetto e valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, attraverso la definizione dell'entità e delle caratteristiche dell'azione sismica.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base espressa a sua volta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g (in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S_e (T) con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini della normativa, le forme spettrali sono definite a partire dai parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Alla luce delle suddette Norme Tecniche, gli spettri sismici dipendono non più dalla zona sismica come nelle precedenti normative (O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i), ma dalle coordinate geografiche del sito. Al fine di ricavare i valori dei suddetti parametri a partire dai nodi del reticolo di riferimento per un assegnato periodo di ritorno (Tabella 1 - Norme Tecniche), sono di seguito riportate le coordinate Gauss-Boaga dell'area d'intervento (Microsoft Virtual Earth, 2009):

- latitudine: 44,412887 (ED50);
- longitudine: 9,136559 (ED50);

Occorre, tuttavia, considerare che il moto generato da un sisma in un sito dipende anche dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche stratigrafiche e topografiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi, nonchè dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Tali fattori tendono a modificare le caratteristiche del segnale sismico rispetto a quello di un sito di riferimento rigido come definito precedentemente.

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata, in prima approssimazione, ricavando la velocità equivalente delle onde S nei primi 30 m dal piano di posa fondazionale (Vs_{30}) e riconducendo l'assetto stratigrafico del sito ad una specifica categoria di sottosuolo: con riferimento al profilo stratigrafico proposto nel presente documento e alle caratteristiche dell'opera a progetto si ritiene verosimile adottare una categoria di suolo di fondazione di tipo C che comprende *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).*

Per quanto riguarda gli effetti topografici, ovvero la modifica all'azione sismica indotta dalla geometria superficiale del terreno, la morfologia del sito di edificazione è stata associata alla categoria T2 (pendii con inclinazione media > 15°) della Tabella 3.2.IV delle Nuove Norme Tecniche. I parametri di pericolosità sismica necessari per le verifiche agli stati limite in condizioni dinamiche sono stati derivati con apposito programma di calcolo (GEOSTRU-PS, 2009) e riassunti nella TABELLA 8 (Stabilità dei pendii) imponendo, come specificato dal Progettista, una vita nominale dell'opera di 50 anni (opere ordinarie) ed una classe I (costruzioni con presenza solo occasionale di persone).

12. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

La formazione del rilevato è avvenuto fino ad oggi mediante lo stoccaggio di sfridi di materiali da costruzione e inerti provenienti da demolizioni e scavi, rocce e materiali litoidi da costruzione. La componente nettamente predominante è quella di terreni e rocce provenienti da movimentazioni di terreno.

Relativamente agli interventi realizzati nelle fasi di coltivazione precedenti, si può riassumere quanto segue:

A – Immediatamente a monte dell’area di discarica sono state realizzate opere idrauliche di notevole rilevanza e più precisamente:

- collegamento definitivo dei corrivi principali con la struttura scatolare in calcestruzzo, di sezione quadrata, preventivamente predisposta in fregio alla S.P. n. 19; l’opera idraulica di fondamentale importanza convoglia nel Rio Larneo le acque drenate in tutta la zona a monte della discarica dal Rio dei Proetti e dal Rio Cugnee;
- l'opera si è resa necessaria in quanto, antecedentemente alla realizzazione della struttura scatolare ubicata lungo la strada provinciale, il Rio dei Proetti, in fase di piena, aveva asportato una consistente porzione di detriti posti in un contorno significativo del solco di deflusso principale;
- una volta eseguita e resa funzionale, la struttura ha permesso la deviazione del Rio dei Proetti dal suo corso originario e quindi l’allontanamento delle acque dalla zona di discarica;
- realizzazione di un sistema di drenaggio di fondo alveo lungo l’asse del Rio dei Proetti in una porzione del tratto compreso fra la strada provinciale e il settore centrale della discarica;

B - In corrispondenza della zona basale della discarica sono state realizzate alcune opere di contenimento e di drenaggio autorizzate con la citata delibera della Provincia di Genova n. 1652 del 20/03/2009, e in particolare:

- nella porzione basale della discarica è stato realizzato un muro di presidio in massi, la cui quota di imposta coincide grossomodo con l'isoipsa 365 m s.l.m e il cui estradosso è ubicato a quota circa 370 m s.l.m.;
- a partire dalla quota di imposta 377 m s.l.m inizia una serie di bastionature in massi che determinano uno sviluppo regolare del profilo basale della discarica fino alla

quota autorizzata con P.D. 1652/2009, ove è prevista la realizzazione di un piazzale che costituisce la struttura di base per la ripresa delle operazioni di abbancamento e completamento della discarica;

- alla data del 07/01/2014 la quota rilevata per le opere abbancamento finalizzate alla sistemazione del piede è pari a 416,80 m s.l.m.;
- prima dell'inizio delle operazioni di riempimento della zona basale sono stati posizionati, a monte della bastionatura di presidio, tre tubi fenestrati per i drenaggio delle acque profonde;
- il sistema di drenaggio fa riferimento ad una vasca di raccolta ubicata immediatamente a valle della bastionatura in massi;
- nel tratto basale della discarica che, sul lato NW si sviluppa in fregio ad un dosso roccioso, è stato predisposto e reso funzionale un canale di raccolta delle acque provenienti dalle canalizzazioni realizzate lungo i gradoni. Il canale sarà progressivamente sviluppato fino alla quota del piazzale superiore.

13. DEFINIZIONE DELLA FASE PROGETTUALE

Il progetto di completamento della discarica esistente e il conseguente studio d'impatto ambientale sono stati articolati attraverso fasi di studio preliminare, di progettazione esecutiva e di valutazione degli aspetti ambientali che sinteticamente possono essere riassunti come segue:

- individuazione della zona di intervento e localizzazione sulle principali cartografie tecniche di riferimento regionali e catastali;
- inquadramento geologico generale finalizzato alla definizione degli aspetti idrogeomorfologici utili alla valutazione delle condizioni di stabilità del corpo di discarica nel suo assetto definitivo;
- analisi dei principali aspetti paesaggistici, naturalistici e agronomico-forestali orientata alla verifica preliminare dei vincoli o altri aspetti per la realizzazione del progetto;
- studio della zona di completamento mediante uso di appropriati rilievi topografici e valutazione dei limiti del complesso definitivo;
- analisi delle condizioni idrogeologiche relative al reticolo idrografico finalizzate a superare eventuali problematiche di carattere idraulico;
- redazione del progetto definitivo di ampliamento del corpo di discarica in previsione delle fasi di sviluppo, basandosi sulle sezioni esplicative del profilo del versante e tenendo conto delle necessarie condizioni di stabilità;
- studio e redazione del progetto inerente la sistemazione finale agro-forestale dell'intera area di discarica;
- analisi degli impatti ambientali durante la fase di abbancamento e successivamente alla sistemazione finale dell'area.

Sulla base degli studi effettuati e della conseguente progettazione, si può riassumere un programma dei lavori suddiviso nelle seguenti fasi lavorative:

- Fase 1: l'abbancamento degli inerti fino al completamento del settore basale alla quota media 416.60 m circa s.l.m. corrispondente al limite della zona di discarica già autorizzata, è stato completato; sono già in funzione opere di carattere idraulico ed idrogeologico previste a progetto (drenaggio delle acque superficiali).
- Fase 1 bis: relativamente alle opere di sistemazione a verde mediante inerbimento della parte basale della discarica fra le quote 370.83 e 416.60 m s.l.m. l'impianto della vegetazione erbacea è stato completato ed è in fase avanzata di attecchimento;
- Fase 2: prosecuzione dei lavori di abbancamento degli inerti fino al completamento del settore intermedio da 416.60 m a 453.14 m circa s.l.m.
- Fase 2 bis: sistemazione a verde mediante inerbimento della parte intermedia della discarica fra le quote 416.60 m e 453.14 m s.l.m.
- Fase 3: profilatura finale della discarica tramite abbancamento degli inerti da 453.14 m a 485.70 m circa s.l.m. ove è ubicato il piazzale superiore della discarica esistente.
- Fase 3 bis: sistemazione a verde mediante inerbimento della parte superiore della discarica fra le quote 453.14 m e 485.70 m s.l.m.

Le operazioni di abbancamento saranno attuate progressivamente, partendo dal settore basale completato e riprofilando il fronte secondo la tecnica delle trance orizzontali, in modo tale da mantenere il controllo delle superfici di accumulo e della stabilità dei piani; per ogni singola trancia è previsto uno spessore di circa 6 m.

I rifiuti inerti saranno trasportati ai vari piani di abbancamento, raggiungibili con gli automezzi pesanti attraverso la pista di cantiere, movimentati e miscelati con mezzi meccanici in base alla granulometria ed infine accumulati e debitamente compattati in modo tale da migliorare la stabilità del rilevato.

Il profilo delle alzate definitive dei singoli gradoni è stato progettato in modo tale da stabilizzare il piede con bastionature in massi di altezza pari a circa 4.0 m fuori terra e le scarpate libere sommitali con angoli di scarpa dell'ordine di 30°, al fine di soddisfare i parametri di calcolo utilizzati nelle verifiche di stabilità.

Contestualmente allo sviluppo delle operazioni di abbancamento, eseguite a partire dalle quote inferiori, sono stati realizzati il canale scolmatore delle acque previsto sul lato occidentale e la vasca di raccolta e di decantazione delle acque provenienti dallo scolmatore in corrispondenza del piede della discarica.

14. PIANO DI SORVEGLIANZA E CONTROLLO

Il piano di sorveglianza e controllo richiesto dal D. Lgs. 36/2003 ha la funzione di prevenire rischi di incidenti ambientali causati dal funzionamento della discarica e di limitarne le conseguenze, in fase sia operativa sia post-operativa.

Sulla base delle caratteristiche della sistemazione finale e dei contenuti del piano di gestione post-operativa, sono stati presi in considerazione i seguenti fattori ambientali: acque sotterranee, acque superficiali e stato del corpo della discarica.

In considerazione della tipologia della discarica, dove non saranno smaltiti rifiuti biodegradabili e rifiuti contenenti sostanze che possono sviluppare gas o vapori, si ritiene che non sia necessario un monitoraggio delle emissioni gassose.

Relativamente alla strumentazione di controllo è stata elaborata una specifica carta del piano di sorveglianza e controllo in cui sono riportata in linea indicativa i dispositivi di monitoraggio messi in opera (FIGURA 9); in fase di cantiere potranno essere definite modifiche e/o integrazioni al piano proposto.

14.1. ACQUE SOTTERRANEE

Per quanto attiene alle acque sotterranee nell'ambito delle attività d'indagine pregresse sono stati installati n. 8 piezometri di cui n. 2 ancora perfettamente funzionanti, ubicati rispettivamente sul piazzale sommitale (P1) e al piede della discarica (P6) e n. 2 comunque recuperabili (S1 e S2). Al fine di monitorare tale matrice ambientale è stato realizzato n.1 piezometro (P7) a valle della discarica, in orografica sinistra del Rio dei Proetti essendo funzionante il piezometro esistente in sponda destra (P6); un secondo piezometro è stato realizzato nell'estremo settore meridionale del piazzale superiore di discarica (P8) per completare la rete di piezometri del piazzale stesso.

L'interpolazione lineare dei punti di misura potrà consentire una rielaborazione delle carte delle isofreatiche in modo da individuare in dettaglio l'evoluzione nel tempo dell'assetto planoaltimetrico della falda nel sottosuolo e la sua soggiacenza rispetto al piano campagna.

Nella fase operativa la frequenza di misurazione sarà su base mensile e al termine di ogni precipitazione molto intensa e di breve durata, mentre in quella post-operativa la cadenza delle misure sarà trimestrale nei due anni successivi al completamento dei lavori e semestrale negli anni successivi, fino al completamento del periodo di controllo post-gestionale decretato dalla Provincia di Genova.

All'interno dei tubi piezometrici dovranno essere prelevati campioni d'acqua da sottoporre a specifiche analisi chimiche da ripetere a cadenza programmata durante e al termine delle attività di abbancamento. In particolare, come previsto nella tabella 1 del D. Lgs. 36/2003, è necessario rilevare a cadenza trimestrale i parametri fondamentali contrassegnati con asterisco, mentre tutti i parametri elencati nella suddetta tabella devono essere misurati almeno ogni sei mesi, mantenendo quest'ultima frequenza anche nella fase post-operativa.

I livelli di controllo dei parametri devono essere determinati in base alle variazioni locali della qualità delle acque freatiche. In particolare, in funzione della soggiacenza della falda, delle caratteristiche stratigrafiche e idrogeologiche del sito e della qualità delle acque sotterranee, potrà essere individuato un livello di guardia per i vari inquinanti da sottoporre ad analisi.

Nella seguente Tabella A sono riportati i livelli piezometrici rilevati con cadenza mensile nei 4 piezometri descritti nel testo; nel piezometro P1 la misura è sostituita dalla lettera "A" essendo il foro risultato sempre asciutto:

DATA	PIEZ.1	PIEZ.6	PIEZ.7	PIEZ.8
10/01/13	A	-3,00	-4,10	-10,80
12/02/13	A	-3,18	-4,35	-11,50
05/03/13	A	-3,27	-4,03	-11,30

25/03/13	A	-2,85	-3,95	-9,85
04/04/13	A	-2,85	-3,80	-10,85
06/05/13	A	-2,94	-3,80	-9,84
05/06/13	A	-3,50	-3,97	-11,03
04/07/13	A	-3,75	-4,01	-11,05
02/08/13	A	-3,88	-4,12	-11,17
04/09/13	A	-3,70	-4,00	-11,07
04/10/13	A	-3,32	-3,81	-10,8
05/11/13	A	-2,92	-3,70	-9,72
05/12/13	A	-3,65	-3,73	-10,77

Tabella A: misura dei livelli freatimetrici nei piezometri attivi

Nella seguente Tabella B sono riportati i risultati delle analisi chimiche delle acque prelevate nei piezometri P6-P7-P8.

Data	Piezometro	Valori Limite: Tabella 2 Dlgs 152/2006	
		Contaminato	Non contaminato
25/03/13	P6	No	Si
25/03/13	P7	No	Si
25/03/13	P8	No	Si
27/06/13	P6	No	Si
27/06/13	P7	No	Si
27/06/13	P8	No	Si
30/09/13	P6	No	Si
30/09/13	P7	No	Si
30/09/13	P8	No	Si
04/12/13	P6	No	Si
04/12/13	P7	No	Si
04/12/13	P8	No	Si

Tabella B: analisi chimiche acque sotterranee

14.2. ACQUE SUPERFICIALI

Per quanto riguarda le acque meteoriche di ruscellamento la norma prevede che solo in condizioni di particolare vulnerabilità ambientale debbano essere individuati i parametri da monitorare; i deflussi sono costituiti da quella parte delle acque meteoriche che scorre sulla superficie del corpo di discarica in coltivazione, senza penetrare in profondità, e quindi senza concorrere alla formazione di percolato.

Per quanto attiene a queste acque i contributi idrici intercettati dalla discarica di inerti saranno smaltiti mediante un sistema di regimazione artificiale che farà riferimento al canale di gronda ricostruito a ponente della traccia originale del Rio dei Proietti.

Tenuto conto di questi aspetti progettuali, i punti di prelievo delle acque superficiali saranno due, individuati uno a monte e uno a valle della discarica.

Per i parametri da ricercare nei campioni d'acqua prelevati si può fare riferimento ancora alla Tabella 2 del Dlgs 152/2006: tutti i parametri elencati nella suddetta tabella devono essere misurati con frequenza annuale anche nella fase post-operativa .

Nella seguente Tabella C sono riportati i risultati delle analisi chimiche delle acque prelevate a monte e a valle della discarica e del percolato prelevato nella vasca di sedimentazione secondo le specifiche indicate nel paragrafo che segue.

Data	Punti di prelievo	Valori Limite:Tabella 2 Dlgs 152/2006	
		Contaminato	Non contaminato
25/03/13	Acque di monte	No	Si
25/03/13	Acque di valle	No	Si
08/05/13	Scarico vasca	No	Si
27/06/13	Acque di monte	No	Si
27/06/13	Acque di valle	No	Si
30/09/13	Acque di monte	No	Si
30/09/13	Acque di valle	No	Si
04/12/13	Acque di monte	No	Si
04/12/13	Acque di valle	No	Si
04/12/13	Vasca nuova	No	Si
04/12/13	Vasca lavaggio	No	Si

Tabella C: analisi chimiche acque superficiali e percolato

14.3. MORFOLOGIA DELLA DISCARICA

La morfologia della discarica, la volumetria occupata dai rifiuti e quella ancora disponibile per il deposito di rifiuti inerti devono essere oggetto di rilevazioni topografiche a

cadenza almeno semestrale e devono tenere conto della riduzione di volume dovuta all'assestamento dei rifiuti stessi. In questo caso, le attività di monitoraggio prevedono:

A – Monitoraggio inclinometrico

A livello procedurale all'interno dei fori di sonda, spinti fino al reperimento del substrato roccioso, è installato il tubo inclinometrico; non appena la miscela cemento-acqua-bentonite assicura la presa, può essere condotta la lettura di taratura o "di zero".

In fase operativa e per i primi 3 anni della gestione post-operativa le letture d'esercizio devono essere condotte su base semestrale, in modo tale da ottenere un controllo sulle modalità di assestamento del corpo della discarica, mentre la frequenza di misurazione potrà essere successivamente più dilatata (almeno annuale) fino al completamento del periodo di controllo post-gestionale decretato dalla Provincia di Genova;

Per quanto concerne lo stato di fatto della strumentazione di controllo si può riassumere quanto segue:

- tenuto conto che sul piazzale sommitale il tubo inclinometrico I1 è stato danneggiato durante il passaggio dei mezzi meccanici, è stato necessario posare in opera di un ulteriore tubo inclinometrico, sempre posizionato alla quota del piazzale superiore (488 m s.l.m.) e identificato negli elaborati grafici con la sigla I2;
- in corrispondenza del settore inferiore della discarica alla quota di riferimento pari a 384 m s.l.m. è stato realizzato un secondo tubo inclinometrico (I3);

La lettura di taratura inclinometrica ("lettura di zero") è stata effettuata in data 6 giugno 2012: la misura ha messo in evidenza un disassamento fra la testa e il piede del tubo inclinometrico di circa 43 cm nell'inclinometro I2 e di circa 1,12 m nell'inclinometro I3.

Nel prosieguo delle attività di controllo è stata prevista l'installazione di 2 ulteriori inclinometri (I4 e I5), in aggiunta a quelli esistenti, per ottenere una rete di monitoraggio più completa e funzionale.

B – Monitoraggio topografico

Al fine di verificare la morfologia della discarica sono state attivate quattro stazioni topografiche (caposaldi), per l'esecuzione di una serie di letture topografiche di taratura e di esercizio, effettuate con apposito strumento di misura con precisione fino a 0,01 cm.

I capisaldi classificati con le sigle A1 e A2 sono stati posizionati lungo la strada provinciale n.19 e fissati direttamente sull'asfalto; dalle due stazioni fisse è stata battuta la testa dell'inclinometro I2 avendo come riferimento le quattro guide del tubo di alluminio emergente dal piano campagna.

I capisaldi classificati con le sigle B1 e B2 sono stati posizionati in corrispondenza dei due crinali che delimitano la discarica nel settore basale e fissati direttamente su basamenti di c.a.; dalle due stazioni fisse è stata battuta la testa dell'inclinometro I3 avendo come riferimento, anche in questo caso, le quattro guide del tubo di alluminio emergente dal piano campagna.

Ferma restando la possibilità di condurre misure ogni qualvolta si ritenga necessario,

la cadenza può essere semestrale in fase operativa e per i primi 3 anni della gestione post-operativa e annuale nel periodo di gestione post-operativa.

I dati fino ad oggi acquisiti indicano che in corrispondenza delle teste degli inclinometri non si è verificato alcun movimento.

C – Monitoraggio geotecnico

Nel corso della fase progettuale sono state effettuate numerose verifiche di stabilità relative allo stato finale delle opere di abbancamento, per le quali si rimanda all'elaborato relativo alle indagini geotecniche (Allegato 5).

Per quanto concerne gli accertamenti in corso d'opera si ritiene opportuna, al fine di ottemperare al disposto della lettera a) del comma 1 dell'art. 10 del D.Lgs n.117/08, una verifica di stabilità dello stato di fatto una volta raggiunta la volumetria di abbancamento pari a circa il 50% di quella prevista nello stato finale.

Relativamente allo stato finale dovranno essere effettuate nuove verifiche di stabilità, valutando i parametri da utilizzare in base alle verifiche geotecniche eseguite in corso d'opera.

L'abbancamento delle terre e rocce da scavo dovrà essere costantemente associato a operazioni di rullatura e compattazione del materiale accumulato: lo stato di compattazione in corso d'opera potrà essere valutato misurando la resistenza alla penetrazione dinamica mediante Prove Penetrometriche in continuo.

Si ritiene opportuno che le prove penetrometriche vengano effettuate mediante strumentazione oleodinamica superpesante.

Attraverso le correlazioni note nella letteratura geologica sarà possibile ricavare i parametri geotecnici relativi alla resistenza al taglio ed utilizzarli nelle verifiche di stabilità previste in corso d'opera e a fine lavori di abbancamento.

A livello di programmazione si possono indicare in corso d'opera frequenze di indagine ogni 2 piani di rilevato eseguiti, prevedendo 3 prove su ogni piano investigato.

A lavori conclusi potranno essere eseguite 3 prove penetrometriche dinamiche sui piani sommitali da eseguirsi in fase post-operativa ad almeno un anno di distanza dalla realizzazione del rilevato definitivo.

In conclusione, sulla base di quanto sopra esposto, è possibile esprimere una valutazione positiva in merito all’efficacia del presente piano di sorveglianza e controllo che in questo modo è in grado di ottemperare le finalità richieste dal D. Lgs. 36/2003 in relazione alle caratteristiche tipologiche della discarica in progetto.

La strumentazione installata permette il monitoraggio dei principali fattori ambientali con i quali la realizzazione dell’opera si deve rapportare, quali le acque sotterranee, quelle superficiali e le condizioni di equilibrio del corpo della discarica.

Per quanto concerne gli aspetti meteoclimatici è stata installata, in corrispondenza del piazzale, una centralina per la rilevazione dei dati relativi alla temperatura, all’evaporazione e all’umidità atmosferica, tramite un sistema di rilevazione automatica dei dati alimentato con batterie interne e senza collegamenti alle reti telefonica o elettrica.

In funzione della cadenza di misurazione di ciascun parametro e dei risultati ottenuti dalle singole analisi, è stato possibile preparare una serie di rapporti di monitoraggio. La frequenza di lettura ad oggi adottata nella fase operativa (mensile) può essere differenziata e diluita in fase post-operativa.

Chiavari, 15 settembre 2014

Dott. Geol. Giacomo Canepa *Dott. Geol. Andrea Robbiano*

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA (1977) - *Raccomandazioni sulle indagini geotecniche*.

BIENIAWSKI Z.T. (1989) – Engineering rock mass classification. J. Wiley & Sons

GEOSTRU (2009) – Geostru PS Parametri Sismici "Software di calcolo per la definizione della pericolosità sismica"

HOEK E., CARRANZA-TORRES C., CORKUM B. (2002) – "Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition", Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002

HOEK E., DIEDERICHS M.S. (2005) – Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43 (2006) 203-215

MARINOS P., HOEK E. (2000) – GSI: a geologically friendly tool for rock mass strenght estimation. GeoEng 2000, Melbourne

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI (2008) – Decreto Ministeriale 14.01.2008, "Nuove Norme tecniche per le costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008. Suppl. Ordinario n.30"

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI (2009) – Circolare 02.02.2009 n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008"

PASQUALINI E. (1983) - *Standard Penetration Test*. Dipartimento di Ingegneria strutturale del Politecnico di Torino.

PROVINCIA DI GENOVA – AREA 06 DIFESA DEL SUOLO, PIANI DI BACINO ED OPERE AMBIENTALI (2002) - *Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico (T. Lavagna).* Redatto ai sensi del comma 1 dell'art. 1 del D.L. 180/98 ("Decreto Sarno").

REGIONE LIGURIA (2005) - Carta geologica in scala 1:25000 "*Foglio Chiavari*"

ROCLAB V.1.031 (2007) - Rock mass strength analysis. Software freeware distribuito da rocscience inc., Toronto (Can)

SERVIZIO GEOLOGICO ITALIANO (1968) - Carta Geologica d'Italia, in scala 1:100.000, F° 83 "*Rapallo*" 2° ed.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE (2006) – *Progetto di adeguamento della discarica di inerti in località Calcinara al D.Lgs. n. 36 del 13.01.2003 – comune di Uscio (Provincia di Genova)*.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE (2008) – *Progetto di messa in sicurezza e bonifica ambientale della discarica di inerti in località Calcinara, nel comune di Uscio (Provincia di Genova)*.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA TECNICA & AMBIENTALE (2010) – *Progetto di realizzazione di una discarica di materiali inerti in località il Prato, nel Comune di Sestri Levante (Provincia di Genova)*.