



PROGETTO DI AMPLIAMENTO DELLA DISCARICA
PER RIFIUTI NON PERICOLOSI "CA' DEI LADRI"
MEDIANTE COMPLETAMENTO DEL III E IV SETTORE
E REALIZZAZIONE DEL V SETTORE CON VARIANTE AL
PSC ED AL POC DEL COMUNE DI GAGGIO MONTANO (BO)
INTEGRAZIONI E MODIFICHE

PROGETTO DEFINITIVO

Redazione:


TECNOAPPENNINO s.r.l.
Società di Ingegneria e Geologia
tel: 051-916012 r.a. fax: 051-916450
e-mail: tecnoappennino@tecnoappennino.191.it

Ing. Lamberto Zanini

Geol. Saul Beghelli

Committente:

CO.SE.A

Responsabile del Progetto
Dott. Gian Galeazzo Giunta

Responsabile dell'Impianto
Dott. Christian Marin

Elaborato:

B

Oggetto:

Relazione geologica

INDICE

1. PREMESSA	2
2. GEOLOGIA	3
3. ANALISI MORFOLOGICA	3
4. PIANO STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO	5
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	6
5.1 SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA AMBITO NORD	7
5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
5.3 QUADRO IDROGEOLOGICO	10
6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	11
6.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	11
6.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	11
6.3 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	11
6.4 PERICOLOSITÀ SISMICA E COEFFICIENTI SISMICI PER QUINTO SETTORE DISCARICA.....	12
7. MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	13
8. OPERE IN PROGETTO	15
8.1 QUINTO SETTORE E VIABILITÀ DI ACCESSO.....	15
8.2 CONSOLIDAMENTO VERSANTE	16
8.3 REGIMAZIONE IDRAULICA - CAPOFOSSO	17
8.4 RECUPERO VOLUMETRICO TERZO E QUARTO SETTORE.....	18
8.5 BACINI IRRIGUI	18
9. VERIFICHE DI STABILITÀ QUINTO SETTORE	18
10. VERIFICHE DI STABILITÀ COMPLETAMENTO TERZO E QUARTO SETTORE	22
11. VERIFICHE DI STABILITÀ ARGINI DI VALLE BACINI IRRIGUI	26

IN ALLEGATO:

Allegato B1: Carta geomorfologica, scala 1:2000;

Allegato B2: Documentazione fotografica stato di fatto;

Allegato B3: Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche, scala 1:1.000;

Allegato B4: Andamento substrato, scala 1:2000;

Allegato B5: Sezione litostratigrafiche - Stato di fatto, scala 1:1.000;

Allegato B6: Sondaggi geognostici;

Allegato B7: Monitoraggio inclinometrico;

Allegato B8: Verifiche di stabilità – Quinto settore;

Allegato B9: Verifiche di stabilità – Completamento terzo e quarto settore;

Allegato B10: Verifiche di stabilità – Argini bacini irrigui.

1. PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto nell'ambito delle Integrazioni e modifiche al Progetto Definitivo di ampliamento della discarica per rifiuti non pericolosi "Ca' dei Ladri" mediante completamento del III e IV Settore e realizzazione del V Settore con Variante al PSC ed al POC del Comune di Gaggio Montano.

Lo studio intende definire le caratteristiche litostratigrafiche e fisico-meccaniche dei depositi del primo sottosuolo, nonché inquadrare l'area dal punto di vista morfologico, idrogeologico e sismico, allo scopo di sviluppare un modello geologico del sito, di riferimento per la progettazione, come richiesto dalle Norme tecniche per le costruzioni, approvate con il D.M. 14-01-2008, al paragrafo 6.2.1. Il modello geologico inizialmente ricostruito (vedi relazione geologica giugno 2011) è stato implementato ed approfondito mediante analisi geomorfologica di dettaglio e locali verifiche geognostiche, nonché aggiornato con recenti fasi di monitoraggio inclinometrico e piezometrico, al fine di fornire al progettista geotecnico un quadro completo sullo stato dei luoghi.

Al fine di perseguire gli obiettivi prefissati l'incarico si è svolto attraverso le seguenti fasi:

- acquisizione degli elementi di progetto per verificare gli interventi previsti e la relativa ubicazione;
- rilievi di superficie ed analisi fotogrammetriche per definire le condizioni geologico-morfologiche dell'area (vedi allegato B1 e B2);
- ricostruzione della situazione litostratigrafica attraverso i dati derivanti dalla campagna geognostica eseguita a marzo 2011 nell'area di ampliamento della discarica e da sondaggi a carotaggio continuo eseguiti lungo il medesimo versante a partire dal 1995 (logs stratigrafici nell'allegato B6);
- approfondimenti geognostici nel comparto a fianco del tunnel di base della vasca 9 inf. mediante la realizzazione di n° 4 perforazioni con macchina da pali (stratigrafie acquisite riportate nell'allegato B6);
- definizione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni e dei R.S.U. partendo sia da indagini in sito (prove S.P.T. e prove penetrometriche statiche), eseguite nella presente fase di progettazione o derivanti da precedenti campagne di perforazione, sia da analisi di laboratorio; il quadro ricostruito è stato integrato e completato dall'esame di pubblicazioni e tesi di laurea inerenti contesti e situazioni simili;
- determinazione delle proprietà sismiche facendo riferimento ad indagini geofisiche eseguite nell'ambito della discarica lungo versanti naturali o in settori già interessati dalla coltivazione dei rifiuti;
- analisi dei dati derivanti dal monitoraggio inclinometrico in corso sulla strumentazione installata lungo la pendice oggetto d'intervento, al fine di supportare con dati oggettivi le osservazioni morfologiche di superficie e verificare eventuali stati di attività delle coperture detritiche in essere (certificati di monitoraggio nell'allegato B7);
- ricostruzione dei caratteri idrogeologici dell'area sulla base dei dati acquisiti durante le perforazioni che si sono susseguite nel tempo nell'ambito della discarica, delle osservazioni effettuate durante le fasi di scavo delle vasche oggetto di coltivazione e del monitoraggio piezometrico;
- verifiche di stabilità relative al quinto settore della discarica che hanno interessato il corpo rifiuti ed il versante post operam, considerando due differenti altezze del livello del percolato;

- verifiche finalizzate ad analizzare la stabilità del terzo e quarto settore della discarica a seguito del recupero volumetrico con stoccaggi aggiuntivi;
- verifica di stabilità dell'arginatura di valle dei bacini irrigui previsti dal progetto, lungo la sezione monte-valle maggiormente cautelativa;
- redazione del presente elaborato in ottemperanza alla normativa vigente, dove si riportano i risultati dello studio, secondo le finalità dello stesso.

2. GEOLOGIA

La geologia dell'area della discarica è caratterizzata dalla presenza di litotipi ascrivibili alle Argille a Palombini (APA), costituiti da argilliti, più o meno fissili, di colore nerastro o grigio scuro, raramente con bandature verdi o rosso scure. Si intercalano calcilutiti grigie, biancastre se alterate, spesso silicee talora con una base arenitica da fine a grossolana, strutturate in strati da medi a spessi. Localmente si individuano torbiditi arenaceo-pelitiche, in strati molto sottili di colore grigio scuro. La formazione si presenta quasi sempre intensamente deformata, a scala dell'affioramento si osserva frequentemente un completo boudinage degli strati calcilutitici, ridotti a blocchi più o meno allineati, con una totale trasposizione della stratificazione originaria. Solo in alcune aree ed in corrispondenza di tratti di successione caratterizzati da un alto valore del rapporto calcare/argilla essa viene mantenuta. Associate alla formazione, sono presenti localmente in posizione non originaria masse ofiolitiche di dimensioni e composizioni estremamente variabili, di cui nell'area in esame non si individua traccia. Nella fascia sommitale della discarica si individua la Litozona argillitica delle Argille a Palombini (APAA). Si tratta di argilliti fissili spesso silicizzate di colore grigio, più chiare se alterate, con intercalazioni di calcilutiti grigie, strutturate in strati da medi a spessi talora a base calcarenitica con patine superficiali di colore bruno, e talora di calcari marnosi in strati molto spessi. Localmente si individuano pacchi di strati sottili arenaceo-pelitici grigio-marroni con rapporto A/P inferiore a 1.

Il substrato affiora in corrispondenza della nicchia delle due frane attive e lungo una dorsale poco rilevata e a modesto sviluppo, che si delinea direttamente a Nord del tunnel della vasca 9 inf. (vedi allegato B1).

3. ANALISI MORFOLOGICA

L'ampliamento Nord della discarica ed il bacino irriguo B1 ricadono in corrispondenza di un ambito sede di coperture detritiche di origine gravitativa, che nella carta geologica regionale sono classificate come deposito di frana attiva complessa (a1g). In particolare è riportato un corpo principale, da quota 525 m s.l.m. fino al fondovalle, ed un elemento secondario, che si sviluppa in posizione mediana lungo il suo fianco sinistro, impostato in un modesto impluvio orientato NNO-SSE. Sono individuate superfici di dissesto anche lungo il fianco destro della frana, ma l'area già interessata da passati ampliamenti della discarica, presenta un assetto significativamente modificato dalla predisposizione degli invasi e dal successivo abbancamento dei rifiuti, avvenuto in gran parte dei settori che si sviluppano in tale ambito.

Il rilievo geomorfologico, l'analisi fotogrammetrica ed i dati provenienti dal monitoraggio inclinometrico hanno permesso di definire un modello completo e aggiornato sullo stato dei luoghi e sulle condizioni di stabilità del versante. La situazione geomorfologica ricostruita è riportata nell'Allegato B1; al fine di illustrare le condizioni dell'area è stata allegata un'ampia documentazione fotografica (Allegato B2) focalizzata sugli ambiti ritenuti più significativi.

Il corpo principale del movimento franoso presenta dinamiche attive nel settore sommitale, partendo dal coronamento a quota 534 m fino ad una quota di circa 470 m s.l.m.. L'individuazione del piede attualmente risulta difficoltosa in quanto l'area è stata interessata da movimenti terra nell'ambito della predisposizione della vasca 9 inf. e delle contestuali opere provvisorie di regimazione delle acque superficiali. Anche il dissesto che si individua nell'impluvio orientato NNO-SSE posto lungo il fianco sinistro del corpo principale è da classificare come attivo. In particolare la scarpata principale della zona di distacco raggiunge quota 423 m s.l.m. ed il piede con i materiali mobilizzati nel recente passato si spinge fino a quota 352 m s.l.m.. In entrambi i casi si tratta di processi superficiali classificabili come colamenti lenti di terra, alimentati da materiali provenienti dalla zona della scarpata di distacco esposta al denudamento e all'instaurarsi di marcati fenomeni erosivi, con la conseguente formazione di strutture proto-calanchive.

La restante parte del corpo detritico, tenendo conto degli elementi di superficie e dei dati provenienti dal monitoraggio inclinometrico può essere classificata come una frana quiescente, attualmente in una fase dormiente (Cruden & Varnes, 1996). Si tratta di un deposito complesso la cui configurazione attuale è il risultato di successive fasi parossistiche di movimento che hanno coinvolto diverse porzioni dell'ammasso e non necessariamente l'intero corpo. Il quadro oltretutto è complicato dalla presenza di dissesti secondari che apportavano e localmente apportano materiali nel canale principale, con la conseguente necessità di un intero riequilibrio delle masse.

Gli inclinometri monitorati da alcuni anni in questo ambito hanno evidenziato come taluni settori siano interessati da dinamiche ad evoluzione estremamente lenta con piani di scivolamento che si attestano al contatto coltre/substrato o all'interno della coltre a cui si sommano localmente deformazioni superficiali riconducibili a fenomeni di soliflusso. In alcune porzioni invece non sono stati registrati movimenti.

I sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in successive fasi di studio hanno permesso di ricostruire la geometria in profondità della copertura detritica. Gli spessori più contenuti (3,0 ÷ 4,0 m) si riscontrano in corrispondenza della zona di distacco e nella fascia mediana, fra le quote di 365 e 405 m s.l.m., individuabile come alveo di frana o area di transito. La zona di accumulo principale, come naturale in relazione agli antichi processi morfologici, è posizionata alla base del versante dove, in prossimità della S.S. n° 64 "Porrettana", si incontrano spessori di detrito di circa 20 m. Anche nell'ambito posto direttamente a monte del quinto settore in progetto, fino ad una quota di circa 470 m s.l.m., è emerso un settore di accumulo secondario che raggiunge spessori di 10,0 – 11,0 m, in rapida diminuzione spostandosi verso monte.

Per quanto riguarda i bacini irrigui B2 e B3 si inseriscono al margine sud-occidentale dell'area di scarica in ambiti non interessati dallo stoccaggio dei rifiuti, ma ampiamente rimaneggiati dalle lavorazioni di riprofilatura post-coltivazione e di gestione dell'impianto. La morfologia originaria non risulta più leggibile; il rilievo di superficie ha

evidenziato come i settori individuati per la realizzazione degli invasi non presentino problematiche di stabilità e l'attuale assetto, derivante dalle sistemazioni antropiche, presenti un buon equilibrio geostatico. Si evidenzia come a valle del bacino irriguo B2 sia presente un presidio strutturale rappresentato da due diaframmi di pali trivellati affiancati, da considerare un valido elemento di salvaguardia.

4. PIANO STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'analisi del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino del Reno ed in particolare del Titolo I – Rischio da frana e Assetto dei Versanti, ha evidenziato come gli ambiti d'intervento risultino attualmente così classificati:

PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO STATO ATTUALE	
GRAN PARTE DEL QUINTO SETTORE E DELLA STRADA DI SERVIZIO	Zonizzazione Carta della Attitudini alle Trasformazioni edilizio-urbanistiche Scheda Ca' dei Ladri – Revisione Settembre 2008 Zona 1 "area in dissesto" (artt. 6-9-10) Zona 2 "area di possibile evoluzione del dissesto" (artt. 7-9-10) Zona 4 "area da sottoporre a verifica" (artt. 8-9-10) Zona 5 "area di influenza" (artt. 9-10)
PORZIONE NORD-ORIENTALE DEL QUINTO SETTORE E DELLA STRADA DI SERVIZIO	Carta della Attitudini alle Trasformazioni edilizio-urbanistiche Unità da sottoporre a verifica (art. 12)
BACINO IRRIGUO B1	Zonizzazione Carta della Attitudini alle Trasformazioni edilizio-urbanistiche Scheda Ca' dei Ladri – Revisione Settembre 2008 Zona 1 "area in dissesto" (artt. 6-9-10)
BACINO IRRIGUO B2	Zonizzazione Carta della Attitudini alle Trasformazioni edilizio-urbanistiche Scheda Ca' dei Ladri – Revisione Settembre 2008 Zona 4 "area da sottoporre a verifica" (artt. 8-9-10) Zona 5 "area di influenza" (artt. 9-10)
BACINO IRRIGUO B3	Zonizzazione Carta della Attitudini alle Trasformazioni edilizio-urbanistiche Scheda Ca' dei Ladri – Revisione Settembre 2008 Zona 5 "area di influenza" (artt. 9-10)

Lo studio geologico ha previsto:

- un aggiornamento della zonizzazione della Scheda Ca' dei Ladri, che tiene conto degli elementi emersi dal rilievo di superficie e dell'efficacia attesa dagli interventi di consolidamento e riassetto idrogeologico in progetto nella porzione sommitale e mediana del versante;
- la Zonizzazione della Carta delle Attitudini alle Trasformazioni edilizio-urbanistiche di un ambito posto direttamente a NE della Scheda Ca' dei Ladri dove ricadono parte delle opere in progetto;

Alla luce del quadro ricostruito e delle valutazioni effettuate si propone una modifica alla Scheda Ca' dei Ladri che inserisce tutte le opere in progetto in Zona 5 "area di influenza" (artt. 9-10). Per una completa visione della proposta di modifica si rimanda all'Elaborato H del Progetto Definitivo.

In base a questa proposta le opere in progetto **sono consentite**, attenendosi alle prescrizioni riportate negli Artt. 9 e 10 delle Norme di Piano.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Al fine di ricostruire il modello del sottosuolo si è fatto riferimento a dati derivanti dalle seguenti indagini di caratterizzazione litostratigrafica e fisico-meccanica:

- campagne geognostiche basate sulle realizzazioni di sondaggi a carotaggio continuo eseguite in fasi successive ed in particolare: agosto 1995; luglio/agosto 2004; maggio 2008; aprile 2010 e marzo 2011;
- prove S.P.T. (Standard Penetration Test) eseguite in foro di sondaggio;
- prove penetrometriche statiche (C.P.T.) eseguite in settori di discarica post-coltivazione nel giugno 2003 e maggio 2009;
- prove di laboratorio su campioni prelevati durante la realizzazione di campagne geognostiche nell'area di discarica;
- Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze) avente titolo "Analisi di stabilità della discarica controllata di Ca' dei Ladri – Silla di Gaggio Montano (BO) – Caratterizzazione geotecnica dei materiali e verifiche numeriche" a cura del laureando David Fattorini; Relatori: Prof. Ing. Teresa Crespellani, Prof. Ing. Claudia Madiati, Ing. Johann Facciorusso, Ing. Pierluca Gobbi.

In particolare le indagini utilizzate per ricostruire la situazione litostratigrafica, dell'area interessata dall'ampliamento nord con la realizzazione del quinto settore, sono riportate nella seguente tabella.

INDAGINI GEOGNOSTICHE Sondaggi a carotaggio continuo			
Denominazione	Profondità raggiunta [m dal p.c.]	Data realizzazione	Prove S.P.T. [N°]
S1	17,2	Luglio 1995	4
S3	21,6	Luglio 1995	3
S4	23,5	Agosto 1995	4
S6	28,7	Luglio 1995	5
S7	30,0	Luglio 1995	5
S104	15,0	Febbraio 2003	3
S104bis	21,0	Maggio 2008	4
S110	30,0	Agosto 2004	5
S112	15,0	Luglio 2004	5
S801	21,0	Maggio 2008	4
S802	21,0	Maggio 2008	4
S804	22,0	Maggio 2008	4

S805	20,0	Maggio 2008	4
S950	25,0	Aprile 2010	-
S011 A	20,0	Marzo 2011	4
S011 B	15,0	Marzo 2011	3
S011 C	15,0	Marzo 2011	3
S011 D	16,7	Marzo 2011	3
S011 E	15,0	Marzo 2011	3
S011 F	15,0	Marzo 2011	3

Tabella 1: Indagini geognostiche utilizzate per le modellazioni geologiche.

I dati a disposizione sono stati recentemente integrati con elementi acquisiti mediante perforazioni speditive con macchina da pali, che hanno permesso di verificare la situazione nell'ambito posto in adiacenza e direttamente a Nord del tunnel vasca 9 inf.

INDAGINI GEOGNOSTICHE Perforazioni con macchina da pali		
Denominazione	Profondità raggiunta [m dal p.c.]	Data realizzazione
SR	10,5	Ottobre 2011
SU	8,5	13-03-12
SV	3,6	08-03-12
SZ	7,9	08-03-12

Tabella 2: Perforazioni con macchina da pali a completamento del modello geologico nell'ambito tunnel vasca 9 inf.

L'ubicazione di tutte le indagini è riportata nell'allegato B3.

5.1 SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA AMBITO NORD

L'area è caratterizzata, partendo dal piano campagna, dalla successione stratigrafica riportata nel seguente prospetto, dove si descrivono le unità litotecniche individuate dalle indagini geognostiche.

SITUAZIONE STRATIGRAFICA GENERALE	
Unità litotecniche	Descrizione
A	Limi argillosi e argille con frammenti e blocchi lapidei, talora abbondanti, di natura calcilutitica o marnosa. Unità ascrivibile alla copertura detritica. L'orizzonte superficiale partendo dal piano campagna fino a circa 2,0 m presentano una consistenza variabile in funzione del grado di umidità pertanto i terreni si presentano soffici a seguito di prolungati periodi piovosi e molto duri per effetto dell'essiccamento estivo. Oltrepastato tale livello il deposito mostra una consistenza da dura a durissima come evidenziano le numerose prove SPT a disposizione. L'unità comprende locali livelli di riporto superficiali, costituiti da materiali di scavo interni all'impianto, e con caratteristiche analoghe ai terreni della coltre.

B	Argille e argilliti a consistenza durissima riconducibili al substrato alterato. Si tratta di un orizzonte posto alla sommità della formazione di base in cui è riconoscibile la struttura originaria ma, pur registrandosi buone proprietà fisico-meccaniche, la degradazione dei materiali ha determinato un decadimento della compattezza dell'ammasso rispetto a quanto osservabile in corrispondenza di termini integri. Questa unità è stata individuata esclusivamente in corrispondenza di alcuni punti di perforazione
C	Argilliti intensamente fratturate ad elevata consistenza, con intercalati livelli calcilutitici a comportamento lapideo. Substrato ascrivibile alle Argille a Palombini (APA)

Tabella 3: Situazione stratigrafica generale.

Per ciascuna indagine, considerata per la ricostruzione del modello geologico, si evidenzia la situazione stratigrafica specifica riportando le profondità, in metri dal piano campagna, a cui si incontrano le unità litotecniche individuate in precedenza.

SITUAZIONE STRATIGRAFICA in corrispondenza di ciascun punto di indagine			
Denominazione	Unità A Coltre detritica	Unità B Substrato alterato	Unità C Substrato
S1	0,0 ÷ -2,0	-	Da -2,0
S3	0,0 ÷ -6,7	-	Da -6,7
S4	0,0 ÷ -5,5	-5,5 ÷ -8,5	Da -8,5
S6	0,0 ÷ -6,0	-	Da -6,0
S7	0,0 ÷ -6,8	-	Da -6,8
S104	0,0 ÷ -6,6	-	Da -6,6
S104bis	0,0 ÷ -10,0	-	Da -10,0
S110	0,0 ÷ -21,0	-	Da -21,0
S112	0,0 ÷ -10,7	-	Da -10,7
S801	0,0 ÷ -3,0	-	Da -3,0
S802	0,0 ÷ -9,0	-	Da -9,0
S804	0,0 ÷ -3,4	-	Da -3,4
S805	0,0 ÷ -6,8	-6,8 ÷ -9,0	Da -9,0
S950	0,0 ÷ -7,7	7,7 ÷ -11,0	Da -11,0
S011 A	0,0 ÷ -3,4	-3,4 ÷ -6,5	Da -6,5
S011 B	0,0 ÷ -2,0	-2,0 ÷ -3,0	Da -3,0
S011 C	0,0 ÷ -2,1	-2,1 ÷ -5,2	Da -5,2
S011 D	0,0 ÷ -5,5	-	Da -5,5
S011 E	0,0 ÷ -3,0	-	Da -3,0
S011 F	0,0 ÷ -3,7	-	Da -3,7
SR	0,0 ÷ -9,3		Da -9,3
SU	0,0 ÷ -7,0		Da -7,0

SV	0,0 ÷ -2,8		Da -2,8
SZ	0,0 ÷ -3,1		Da -3,1

Tabella 4: Situazione stratigrafica in corrispondenza di ciascun punto di indagine.

I dati a disposizione hanno permesso la ricostruzione complessivamente di n° 5 sezioni litostratigrafiche, di cui una si sviluppa lungo l'intero versante partendo dalla S.S. n° 64 "Porrettana" fino a quota 540,0 m s.l.m.; n° 3 sezioni (4bis, k e v9) sono riportate nell'allegato B5, mentre le sezioni n° 3 e 5 sono state finalizzate alle verifiche di stabilità (vedi allegato B8). Al fine di evidenziare più chiaramente l'andamento del substrato, nel comparto interessato dai lavori, è stato predisposto l'allegato B4, ottemperando alla richiesta di integrazione pervenuta a seguito della Conferenza di Servizi del 12 settembre 2011 (Punto D).

5.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel seguente prospetto si illustra, per ciascuna unità litotecnica distinta, una caratterizzazione fisico-meccanica derivante dall'elaborazione dei dati ricavati da indagini in sito e di laboratorio condotte relativamente all'ambito di discarica. Per ciascun parametro si fornisce un range di valori compresi fra il minimo ed il massimo ottenuti selezionando fra le numerose misure a disposizione, derivanti da varie tipologie di acquisizione, quelle ritenute più attendibili e rappresentative del comportamento geotecnico dei materiali in esame, tenendo conto anche di esperienze in contesti analoghi acquisite da pubblicazioni e tesi del settore.

PARAMETRI GEOTECNICI				
Unità litotecnica	γ_k [t/m ³]	c_u [kPa]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]
A Coltre detritica	1,8 ÷ 2,0	50 ÷ 120	5 ÷ 15	22 ÷ 24
B Substrato alterato	2,0 ÷ 2,1	180 ÷ 210	20 ÷ 40	25 ÷ 26
C Substrato	2,1 ÷ 2,2	250 ÷ 380	50	25 ÷ 28

Tabella 5: Parametri geotecnici.

In tabella le sigle indicano rispettivamente:

γ_k = peso di volume del terreno [t/m³];

c_u = coesione non drenata [kPa];

c'_k = coesione efficace [kPa];

ϕ'_k = angolo d'attrito interno [°].

5.3 QUADRO IDROGEOLOGICO

Il substrato argillitico presenta una permeabilità praticamente nulla come evidenziato dalle prove di permeabilità realizzate nell'ambito della discarica, che hanno riscontrato valori di conducibilità idraulica inferiori a 10^{-9} m/s. I materiali infatti che presentano valori inferiori a tale limite vengono definiti come impermeabili, pertanto si esclude la presenza di falde all'interno di questa unità.

Anche i terreni della copertura detritica presentano un grado di permeabilità molto basso, vista la natura prevalentemente argillosa. In ragione del carattere eterogeneo dei materiali con la presenza di frammenti e blocchi lapidei sono interessati da una circolazione idrica discontinua e spesso localizzata che si sviluppa attraverso vie di percolazione preferenziale, costituite in particolare da livelli a granulometria più grossolana o da orizzonti ricchi di inclusi lapidei. Si tratta di acque non riconducibili alla presenza di una falda freatica superficiale, ma derivanti da una prima infiltrazione e che di conseguenza risentono significativamente degli apporti meteorici. La circolazione presente è limitata ai terreni della copertura e spesso si concentra alla base dei terreni che costituiscono la coltre dove incontra la soglia di permeabilità descritta in precedenza.

Al fine di fornire al consulente geotecnico (Ing. Mauro De Gennaro) un quadro più completo sulle condizioni idrogeologiche del comparto è stata effettuata in data 05-04-2012 una lettura sui piezometri Norton presenti lungo il versante d'intervento. Il piezometro Casagrande S110pz posto alla base del versante è danneggiato all'imboccatura pertanto risulta illeggibile.

Nella seguente tabella si riportano i livelli idrici misurati e, per una migliore interpretazione dei dati acquisiti, le caratteristiche di ciascun piezometro e la profondità del contatto coltre/substrato nel punto di acquisizione.

PIEZOMETRI				
Denominazione	Soggiacenza livello idrico [m]	Profondità piezometro [m]	Intervallo fessurato [m]	Prof. contatto coltre/substrato [m]
S3	-7,87	20	-6,0 ÷ -20,0	6,7
S4	-5,11	22,5	Non indicato	5,5
S6	-19,06	28,4	-7,4 ÷ -28,40	6,0
S7	-3,84	27,7	-6,7 ÷ -27,7	6,8

Tabella 6: Piezometri – livelli idrici e caratteristiche strumentazione installata.

I dati acquisiti si ritiene confermino il modello presentato in precedenza come è comprensibile dall'analisi di ogni singola misura:

- S3: il livello misurato si attesta ad una profondità superiore rispetto al contatto coltre/substrato; pertanto risultando le argilliti praticamente impermeabili tale livello è determinato da una modesta percolazione di acqua dall'alto nello strumento installato;

- S4: non si hanno a disposizione dati relativi alle caratteristiche del piezometro, pertanto ogni valutazione può risultare priva di significato, comunque è verosimile un livello saturo dello spessore di circa 40 cm al tetto del substrato;
- S6: lo strumento installato è fessurato in un intervallo che si sviluppa interamente nel substrato; il livello idrico misurato denota una modesta percolazione dall'alto;
- S7: il livello misurato si attesta circa 3,0 più in alto rispetto al contatto coltre substrato. Un livello saturo di tale spessore non si ritiene verosimile, comunque non si hanno elementi per poterlo escludere a priori.

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Il Comune di Gaggio Montano in base alla classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n° 3274, ricade in Zona 3.

Le Norme Tecniche per le costruzioni approvate con D.M. 14 gennaio 2008 evidenziano come le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Di seguito si caratterizza l'area dal punto di vista sismico attenendosi alla indicazioni della normativa in vigore e fornendo i parametri di pericolosità sismica ed i coefficienti sismici di riferimento.

6.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

In assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II e 3.2.III NTC08).

Alla luce dei dati sismici a disposizione derivanti da analisi tomografiche e da un'indagine sismica a rifrazione condotta nel gennaio 2007 in ambiti già interessati da coltivazione si definisce quanto segue:

- categoria di sottosuolo B - per gli interventi che si inseriscono lungo il versante naturale;
- categoria di sottosuolo D - in presenza del corpo rifiuti, basandosi sui valori più cautelativi di V_{s30} emersi dall'indagine sismica a rifrazione;

6.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Il versante presenta un'acclività di circa 10-12° nel settore d'intervento che diminuisce gradualmente spostandosi verso valle mentre aumenta salendo a quote superiori. La realizzazione del settore di discarica verrà a determinare quantomeno in quell'ambito acclività maggiori di 15°. In base alla classificazione riportata in Tab. 3.2.IV delle NTC08 l'area presenta caratteristiche topografiche di passaggio fra la categoria T1 e la T2. Di conseguenza in via cautelativa è stato adottato un coefficiente topografico S_T pari a 1,2 (Tab. 3.2.VI).

6.3 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione nei terreni denota una diminuzione di resistenza a taglio e di rigidità, causata dall'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante un evento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Tale fenomeno si verifica qualora siano soddisfatte tutte le seguenti condizioni:

- sismi con magnitudo $> 5,5$;
- a_g (accelerazione orizzontale max su suolo rigido) $> 0,15g$;
- presenza di falda nei primi 15 m di profondità;
- presenza di importanti orizzonti di sabbie da poco a mediamente addensate con frazione di materiali fini $< 25\%$, negli strati superficiali (< 15 m).

L'analisi della situazione litologica, stratigrafica ed idrogeologica permette di escludere, anche nell'ipotesi di sismi con magnitudo > 5.5 pericoli derivanti da liquefazione.

6.4 PERICOLOSITÀ SISMICA E COEFFICIENTI SISMICI PER QUINTO SETTORE DISCARICA

Nella seguente tabella sono riportati i parametri di pericolosità sismica ed i coefficienti sismici di riferimento ricavati utilizzando il software Geostru-PS. I dati di input introdotti sono:

- coordinate geografiche del sito d'intervento:
 - WGS84: latitudine (44.1985); longitudine (11.0020);
 - ED50: latitudine (44,1994); longitudine (11,0030);
- vita nominale della struttura (V_N) posta pari a 100 anni;
- classe d'uso III;
- coefficiente di amplificazione topografica 1,2.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B

Stati limite		P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_C^*	S_s	C_C	S_T	Coeff. sismici stabilità pendio			
										k_h	k_v	a_{max}	β_s
SLE	SLO	81%	90	0,098	2,454	0,272	1,20	1,43	1,20	0,028	0,014	1,390	0,200
	SLD	63%	151	0,121	2,445	0,280	1,20	1,42	1,20	0,042	0,021	1,712	0,240
SLU	SLV	10%	1424	0,252	2,516	0,310	1,15	1,39	1,20	0,098	0,049	3,417	0,280
	SLC	5%	2475	0,296	2,545	0,320	1,10	1,38	1,20	0,109	0,055	3,834	0,280

Tabella 7: Parametri di pericolosità sismica e coefficienti sismici con categoria di sottosuolo B.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO D

Stati limite		P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_C^*	S_s	C_C	S_T	Coeff. sismici stabilità pendio			
										k_h	k_v	a_{max}	β_s
SLE	SLO	81%	90	0,098	2,454	0,272	1,80	2,40	1,20	0,043	0,021	2,085	0,200
	SLD	63%	151	0,121	2,445	0,280	1,80	2,36	1,20	0,063	0,031	2,568	0,240
SLU	SLV	10%	1424	0,252	2,516	0,310	1,45	2,25	1,20	0,123	0,062	4,308	0,280
	SLC	5%	2475	0,296	2,545	0,320	1,27	2,21	1,20	0,126	0,063	4,427	0,280

Tabella 8: Parametri di pericolosità sismica e coefficienti sismici con categoria di sottosuolo D.

Nella tabelle le sigle indicano rispettivamente:

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R al variare dello stato limite;

T_R [anni] = periodo di ritorno dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica;

a_g [g] = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido orizzontale;

F_0 [adimensionale] = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale;

T_C^* [s] = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido orizzontale;

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

C_C = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;

S_T = coefficiente di amplificazione topografica;

k_h = coefficiente sismico orizzontale;

k_v = coefficiente sismico verticale;

a_{max} [m/s^2] = accelerazione orizzontale massima attesa al sito = $S_S \times S_T \times a_g$;

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

7. MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

L'analisi dei dati derivanti dal monitoraggio inclinometrico in corso sulla strumentazione installata lungo il versante oggetto d'intervento ha permesso di effettuare relativamente a ciascun punto di misura le seguenti osservazioni:

- I 104bis: la colonna inclinometrica evidenzia una discontinuità in evoluzione a -7,5 m, che si delinea all'interno dei terreni della copertura detritica. Il tasso di deformazione risulta modesto e quantificabile, mediando i valori emersi nel periodo compreso fra il 18-06-2008 ed il 04-11-2010 (≈ 22 mesi), in 1,1 mm/anno. Il monitoraggio condotto successivamente, aggiornato a marzo 2012, ha evidenziato una dinamica costante, con una progressione del fenomeno che si mantiene pertanto estremamente lenta. Si osserva inoltre una deviazione dalla verticale della porzione più superficiale del tubo in particolare dal piano campagna fino a circa -4,0 m, riconducibile ad una deformazione che interessa i terreni di riporto del rilevato su cui si sviluppa la viabilità esistente.
- I 110: il monitoraggio condotto dal 15-09-2004 al 16-06-2009 non aveva riscontrato discontinuità o deformazioni riconducibili a dinamiche di versante. Il controllo effettuato il 20-04-2010 aveva evidenziato una discontinuità a -21,0 m al contatto coltre/substrato con una modesta deformazione locale quantificabile in circa 1,5 mm, con direzione orientata lungo la massima pendenza del versante. I controlli successivi hanno mostrato una progressione del fenomeno fino al controllo del 06-10-2011. Le verifiche del 28-12-2011 e del 23-03-2012 non hanno evidenziato significative evoluzioni. Complessivamente lo spostamento lungo la superficie di discontinuità, basandosi sull'elaborazione differenziale locale, è pari a circa 3,0 mm. Non è da escludere che i lavori per la costruzione della variante alla SS n° 64 alla base del versante, abbiano momentaneamente alterato l'equilibrio geostatico dei terreni della copertura detritica.
- I 801: l'inclinometro presenta una deformazione con evoluzione disomogenea che interessa l'intervallo compreso fra il piano campagna e -3,0 m, profondità a cui si attesta il passaggio coltre/substrato. A testa tubo il

monitoraggio condotto nel periodo 18-06-2008/05-01-2011 aveva evidenziato una deviazione complessiva dalla verticale di 37 mm. Il controllo effettuato in data 23-03-2012 ha riscontrato come la deformazione nella porzione sommitale dell'inclinometro sia tale da impedire l'inserimento della sonda di lettura, pertanto non sarà più possibile proseguire il monitoraggio in corrispondenza di tale punto di controllo.

- I 802: il tubo inclinometrico presenta una deformazione in evoluzione orientata lungo la massima pendenza, che interessa la porzione compresa fra il piano campagna e -9,0 m, dove si individua il passaggio stratigrafico coltre/substrato. La distorsione della colonna risulta modesta nell'intervallo da -9,0 m a -5,5 m, mentre si presenta più marcata da qui al piano campagna. La discontinuità più evidente è posta alla profondità di -4,5 m. A testa tubo nell'intervallo temporale 18-06-2008/05-01-2011 si è registrata una deviazione dalla verticale di circa 66 mm. Nel periodo successivo di monitoraggio la deformazione è progredita, comunque, considerando la discontinuità posta a -4,5 m, si osserva un rallentamento del fenomeno. Infatti a tale profondità nel periodo compreso fra il 03-09-2009 ed il 05-01-2011 il tasso di deformazione risulta di circa 4,0 mm/anno, invece dal 05-01-2011 al 23-03-2012 tale valore si attesta sui 2,8 mm/anno.
- I 804: il monitoraggio nel periodo dal 20-06-2008 al 05-01-2011 ha evidenziato una deformazione che interessa il tubo inclinometrico dal piano campagna fino a -3,0 m, profondità a cui si attesta la discontinuità stratigrafica coltre/substrato. Tale deformata, oltre a presentare un'evoluzione discontinua, è caratterizzata da un trend che risente verosimilmente dei fenomeni superficiali di rammollimento ed essiccamento tipici dei terreni argillosi. Nell'intervallo interessato dai fenomeni di distorsione, la deviazione dalla verticale, comunque contenuta, è orientata lungo la massima pendenza dell'impiuvio. Nel periodo successivo di monitoraggio (05/01/2011 – 20/12/2011) non si osservano evoluzioni.
- I 805: l'inclinometro ha registrato una discontinuità in lenta e discontinua evoluzione alla profondità di -3,5 m, attestata nei terreni della copertura detritica. A tale profondità la deformazione complessiva nel periodo dal 20-06-2008 al 05-01-2011 risulta di 3,4 mm con un tasso medio di spostamento pari a 1,35 mm/anno. Il monitoraggio condotto successivamente aggiornato alla fine di marzo 2012 ha riscontrato una progressione pressoché costante della deformazione.
- I 950: nel periodo di monitoraggio (04-11-2010/04-01-2011) non sono state registrate deformazioni. La lettura del 12-07-2011 ha evidenziato alla profondità di 3,0 m, nei terreni della coltre, uno spostamento di circa 13,0 mm. In concomitanza della verifica successiva nell'inverno 2011-2012 è stato impossibile scendere con la sonda di acquisizione in quanto la progressione del fenomeno aveva determinato un gomito nel tubo inclinometrico. Al fine di inquadrare tale dinamica si evidenzia che, nel periodo in cui si è verificata la deformazione, nel comparto direttamente a monte è stato realizzato un rilevato in terra funzionale alla predisposizione della vasca 9 inf. ed alla costruzione del tunnel di base. A seguito del ricarico dei terreni il tubo inclinometrico ha evidenziato la discontinuità. A fine marzo 2012 al fine di proseguire il monitoraggio la porzione superficiale del tubo è stata sostituita mediante la realizzazione di uno scavo che ha permesso la rimozione del tratto deformato. Per questo motivo la lettura successiva del 05-04-2012 mostra un andamento anomalo nella porzione superficiale,

indipendente dallo stato dei luoghi. Tale interpretazione è supportata dai dati del diagramma polare della deviazione che evidenzia un andamento discorde con la topografia. Il proseguimento del monitoraggio permetterà di comprendere se la dinamica superficiale riscontrata presenterà delle evoluzioni. Nel periodo monitorato non sono state riscontrate discontinuità al contatto coltre/substrato.

8. OPERE IN PROGETTO

Il corpo principale del progetto è rappresentato dalla realizzazione del quinto settore della discarica, nell'impluvio posto direttamente a Nord dell'attuale impianto. Si tratta di predisporre un invaso con caratteristiche di lavorazione e fasi di cantiere del tutto analoghe a quanto già messo in atto nei passati ampliamenti. In sintesi si procede prima al movimento terra, poi all'esecuzione dei presidi strutturali, per finire con le impermeabilizzazioni e la rete di captazione e drenaggio del percolato. Oltre a ciò, occorre provvedere alla costruzione di un tratto di viabilità di servizio della lunghezza complessiva di circa 1 Km.

L'ampliamento della discarica nel quinto settore richiederà opere complementari finalizzate alla regimazione delle acque superficiali, al consolidamento della porzione sommitale del versante ed alla realizzazione di presidi strutturali di sostegno a monte delle vasche in progetto.

8.1 QUINTO SETTORE E VIABILITÀ DI ACCESSO

La realizzazione del quinto settore richiede movimenti di terreno per la creazione degli invasi costituiti da sbancamenti finalizzati ad asportare la coltre superficiale di terreno secondo le sezioni di scavo previste, con adozione di una serie di banche e scarpate di fondo. Le vasche in progetto si andranno ad impostare interamente in corrispondenza delle argilliti del substrato, pertanto i terreni detritici della copertura interessati da movimenti gravitativi in atto o quiescenti saranno in tale ambito completamente rimossi.

Come opere strutturali è prevista la realizzazione di un tunnel scatolare di base, di diaframmi in linea intermedi e di presidi sommitali, impostati su fondazioni indirette costituite da pali trivellati di medio e grande diametro attestati in corrispondenza delle argilliti del substrato. Inoltre sono stati inseriti muri di sostegno a valle delle piazzole sommitali dotati di fondazione su pali trivellati di medio diametro.

Contestualmente sarà predisposta la viabilità di servizio con operazioni di scavo e di riporto che hanno richiesto l'inserimento di presidi strutturali rappresentati da gabbionate in pietrame dotate di fondazioni indirette mediante pali di medio diametro. Esclusivamente la gabbionata su tre ordini, a sostegno del fronte di scavo per approntare la sede viaria a monte della vasca 13, presenta fondazioni superficiali, vista la superficialità del substrato in quel tratto.

Le tipologie fondali delle varie opere e la lunghezza dei pali sono state definite tenendo conto degli elementi emersi dal rilievo di superficie e delle stratigrafie a disposizione, che comunque saranno verificate in corso d'opera.

Gli interventi sono individuati nel suo complesso nella Tavola 3 del Progetto Definitivo a cui si rimanda per una completa visione. Nelle tavole 4 e 6 sono presentate le sezioni di dettaglio delle opere.

8.2 CONSOLIDAMENTO VERSANTE

Gli interventi di consolidamento sono stati individuati e dimensionati facendo riferimento al modello geologico presentato nella presente relazione, al modello geotecnico ricostruito dall'Ing. Mauro De Gennaro, illustrato nell'Elaborato C del Progetto Definitivo ed allo studio idraulico dell'Ing. Matteo Palmieri.

In particolare nella porzione sommitale del movimento gravitativo, direttamente a Nord della vasca 9, è prevista la realizzazione di:

- n° 4 gabbionate in pietrame a due ordini impostate su fondazioni indirette mediante pali trivellati che si andranno ad attestare in corrispondenza delle argilliti del substrato;
- un sistema di trincee drenanti spinte fino alle argilliti del substrato, finalizzate ad intercettare acque di prima infiltrazione e fluenti al contatto coltre/substrato, nonché a creare un ossatura di irrigidimento in terreni mobilizzati di recente; tali aste drenanti sono indirizzate verso il capofosso limitrofo;
- palleggio di terreno e riprofilatura dell'area al fine sia di conferire alla superficie un andamento regolare, sia di compattare i terreni coinvolti nel franamento, suturando le fratture beanti venutesi a creare;
- capofosso, lungo la linea di massima pendenza direttamente a Nord della vasca 9, con funzioni di collettamento e smaltimento verso valle delle acque intercettate dal reticolo superficiale e dalle trincee drenanti;
- rete di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche costituita da cunette in terra, in modo tale da limitare le infiltrazioni ed i fenomeni di ruscellamento superficiale. L'intervento è costituito da fossetti di scolo in corrispondenza del corpo di frana, localmente provvisti di protezione in pietrame al fine di limitare il potere erosivo delle acque fluenti.

Le opere e le lavorazioni previste hanno la finalità di stabilizzare la porzione di versante con interventi mirati al sostegno strutturale ed alla regimazione delle acque superficiali e sotterranee.

A Nord del tunnel della vasca 9 inf. è previsto un presidio strutturale focalizzato a contrastare le spinte di monte mediante trasferimento degli sforzi tangenziali alle argilliti del substrato non interessate dal fenomeno franoso. Le opere sono posizionate in continuità con il tunnel della vasca 9 inf. con l'intento di creare una barriera strutturale trasversale al corpo di frana, posta alla base di un ambito in cui il monitoraggio inclinometrico ha evidenziato dinamiche traslative, ad evoluzione comunque estremamente lenta. Si tratta di diaframmi di sostegno costituiti da pali trivellati ($\phi = 800$ mm) della lunghezza di 15 m, collegati in testa da una trave di coronamento, organizzati in due moduli che presentano una lunghezza di 20 m ciascuno ed una forma ad "E".

Inoltre è previsto un diaframma di pali trivellati, che si sviluppa per circa 40 m parallelamente al capofosso in sponda sinistra. Si tratta di un'opera di protezione del canale al fine di evitare che eventuali spinte che si esplicano nei terreni della copertura possano occludere il canale F1 o determinare un restringimento della sezione di deflusso.

Nell'ambito posto direttamente a monte del quinto settore di discarica in progetto, dove si delinea un ispessimento della copertura detritica, saranno previste le seguenti tipologie di interventi:

- operazioni di asportazione ed allontanamento di parte dei riporti e dei materiali detritici (circa 19.000 m³), finalizzate ad una riduzione degli sforzi tangenziali;

- inserimento di presidi strutturali di varia tipologia costituiti da pali trivellati di grande diametro della lunghezza di 15-20 m; tali elementi, definiti dal progettista geotecnico sulla base delle spinte calcolate mediante modellazioni lungo il pendio, svolgono un'azione di trasferimento degli sforzi tangenziali alla formazione di base estremamente consistente e non coinvolta dal movimento;
- trincee drenanti spinte fino alla profondità di 4,0 m, finalizzate ad intercettare ed allontanare acque di prima infiltrazione, che percolano nei primi strati della copertura detritica;
- dreni sub-orizzontali e pozzi drenanti spinti fino all'interfaccia coltre/substrato per la riduzione delle pressioni neutre; tali lavorazioni sono state individuate in quanto l'efficacia dei drenaggi nella stabilizzazione dei versanti non è legata esclusivamente alla quantità di acqua smaltita, ma anche alle variazioni apportate al regime delle pressioni interstiziali; le acque intercettate saranno dirette a gravità alla rete di scolo superficiale;
- rete di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche costituita da cunette in terra nell'ambito compreso fra il capofosso ed il quinto settore, in modo tale da limitare le infiltrazioni ed i fenomeni di ruscellamento superficiale.

Tutte le acque superficiali e sotterranee intercettate in questo settore saranno indirizzate alla canaletta di guardia in progetto a monte della viabilità di servizio, che sarà convogliata al capofosso.

Le opere di consolidamento e di riassetto idrogeologico del versante, rappresentate nella tavola 16 del Progetto Definitivo, assolvono all'obiettivo di rimozione degli elementi di pericolosità geologica garantendo l'assenza di rischio per il comparto di Ampliamento della discarica.

8.3 REGIMAZIONE IDRAULICA - CAPOFOSSO

La regimazione delle acque meteoriche comprende in primis la realizzazione del capofosso F1, come da Prescrizione VIA 2009, che funge da collettore principale delle acque provenienti da monte e dai settori adiacenti.

Il canale sarà oggetto di ripristino ed interessato da opere di stabilizzazione, come individuato nelle tavole 13-13/f "Regimazione idraulica capofosso" del Progetto Definitivo. Tale collettore, adeguatamente dimensionato, provvederà allo smaltimento delle acque meteoriche nel Fiume Reno. L'individuazione del tracciato ha tenuto conto delle peculiarità topografiche dell'area, delle opere strutturali già presenti e del quinto settore in progetto. Saranno previsti lungo il suo sviluppo, come individuati a seguito di specifico studio idraulico a cura dell'Ing. Matteo Palmieri, interventi mirati alla stabilizzazione del fondo e delle sponde con l'inserimento di briglie in gabbioni su fondazioni profonde costituite da pali trivellati ($\phi = 420$ mm) e di rampe in pietrame.

Lungo il suo percorso nei tratti dove le acque fluenti potrebbero esplicare un'azione erosiva critica (pendenze significative, cambi di direzione nel tracciato) sul fondo e lungo le sponde è stata inserita una protezione in pietrame grossolano. Nel tratto a monte del V settore dove si sviluppa pressoché trasversalmente al versante è stata prevista l'impermeabilizzazione del canale, onde evitare infiltrazioni nei terreni della copertura detritica.

Nel tratto che si sviluppa fra le quote di 485 e 480 m s.l.m. il fosso attraversa un ambito piuttosto acclive, compreso fra la vasca 9 up e l'area attualmente interessata dai fenomeni gravitativi di colamento. Al fine di fissarne il tracciato, evitando divagazioni dell'alveo ed interferenze con i comparti limitrofi, è stato previsto un inalveamento forzato lungo un canale, con protezione antierosiva in pietrame sia di fondo sia lungo le sponde, impostato su micropali.

8.4 RECUPERO VOLUMETRICO TERZO E QUARTO SETTORE

Nell'ambito del progetto definito è compreso anche il completamento del Terzo e Quarto Settore, che prevede una configurazione di abbancamento con modeste differenze rispetto a quella licenziata, pertanto viene funzionalmente collegata agli elementi strutturali e drenanti già in essere. Gli stoccaggi aggiuntivi si determinano da diversi fattori di ottimizzazione degli abbancamenti con variazione delle arginature esistenti. La configurazione finale, individuata nella Tavola 17 del Progetto Definitivo, è stata sottoposta a verifica di stabilità, ottemperando alla richiesta di integrazione pervenuta a seguito della Conferenza di Servizi del 12 settembre 2011 (Punto G). L'approccio metodologico ed i risultati delle verifiche sono presentati nel paragrafo 10 del presente elaborato.

8.5 BACINI IRRIGUI

Il progetto prevede inoltre la realizzazione di invasi artificiali aventi funzione di accumulo per assolvere al fabbisogno idrico degli interventi di ripristino ambientale con sistemazioni a verde. Si tratta in particolare di tre bacini irrigui; uno sarà posizionato direttamente a valle del quinto settore, mentre i restanti due sono posti al margine sud-occidentale della discarica. Gli invasi sono individuati mediante planimetrie di dettaglio e sezioni nelle Tavole 20/a – 20/c del Progetto definitivo, dove sono riportati anche i particolari costruttivi. È rappresentato il tipo di alimentazione, con l'indicazione del punto di presa da fossi di scolo presenti in adiacenza e si individua lo sfioratore in uscita ed il canale di scarico, fino al reinserimento nel circuito idraulico di superficie.

La realizzazione di ciascun invaso prevederà l'asportazione dei materiali presenti nell'area per uno spessore di almeno 2,0 m e la sostituzione con argille e argilliti provenienti da sbancamenti in altri ambiti della discarica che saranno compattate mediante idonei mezzi meccanici. Sulla superficie venutasi a determinare sarà impostato il fondo del bacino e l'argine di valle, che sarà predisposto mediante la posa in opera di strati successivi di terreno, che se necessario saranno opportunamente umidificati, aventi spessore non superiore a 30 cm, al fine di garantire una valida omogeneizzazione e compattazione. Alla luce del contesto litologico l'impermeabilizzazione potrebbe essere effettuata semplicemente spargendo e compattando strati di argilla, privi di inclusi; l'inserimento di teli impermeabili come previsto nel progetto offrirà certamente maggiori garanzie a lungo termine.

Nell'ambito del presente studio, al fine di verificare la fattibilità delle opere, è stata analizzata relativamente a ciascun invaso la stabilità dell'argine di valle. A seguito dei risultati emersi dalle prime verifiche, al piede dell'invaso B2 è stato previsto l'inserimento di una gabbionata in pietrame a due ordini fondata pali trivellati.

L'approccio metodologico ed i risultati delle analisi sono riportati nel paragrafo 11.

9. VERIFICHE DI STABILITÀ QUINTO SETTORE

Per la valutazione della fattibilità dell'intervento in progetto sono state eseguite le verifiche di stabilità con il programma di calcolo "CDD Win" della S.T.S. S.r.l.. La normativa utilizzata nelle fasi di calcolo è costituita dalle Norme Tecniche per le costruzioni emanate con il D.M. 14/01/2008 pubblicato nel suppl. 30 G.U. 29 del 4/01/2008, nonché dalla Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 2 Febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

Sono state eseguite verifiche agli Stati Limite Ultimi, in particolare allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV); la stabilità nei confronti dell'azione sismica è stata eseguita con il metodo pseudo-statico, applicando l'Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2).

Il programma di calcolo consente la determinazione del coefficiente di sicurezza relativo ad ipotetiche superfici di rottura, pari al rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la resistenza al taglio mobilitata. I metodi di calcolo prevedono la suddivisione della porzione di pendio in oggetto in un numero determinato di conci di uguale ampiezza. Ipotizzando che la base di ciascun concio sia piana e che lungo la superficie di scorrimento valga il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, che correla tra loro le reazioni tangenziali e normali, le incognite sono le reazioni laterali, i loro punti di applicazione e le reazioni normali alla base. Tra i metodi dell'equilibrio limite sono stati adottati quelli di Bell e Jambu.

L'area oggetto dell'ampliamento della discarica di Ca' dei Ladri per la realizzazione del quinto settore, così come le pendici già interessate da lavorazioni, sono state sedi di campagne di indagini che hanno previsto l'esecuzione di carotaggi continui, prove penetrometriche statiche ed indagini geofisiche. Sulla base del modello litostratigrafico e geotecnico definito si è scelto di sottoporre a verifica le sezioni di progetto n° 3 e n° 5, che si ritengono rappresentative sia del quadro litostratigrafico della porzione di pendice in esame, che delle differenti geometrie di abbancamento dei R.S.U. Le modifiche apportate alle geometrie degli abbancamenti nel V settore, rispetto al progetto originario (giugno 2011), diretta conseguenza delle variazioni nel tracciato stradale e nelle piazzole di monte sono minimali. Ritenendo tali modifiche non significative ai fini delle verifiche di stabilità, non saranno effettuate nuove analisi, ma sono stati allegati i report provenienti dalle modellazioni precedenti.

Per ogni sezione sono state analizzate le condizioni di scavo e le condizioni di progetto con l'abbancamento dei R.S.U.; le analisi sono state condotte ipotizzando superfici di tipo poligonale e di tipo circolare.

Per le verifiche di progetto riguardanti il corpo rifiuti è stata considerata cautelativamente la presenza di un livello di percolato attestato sul fondo vasca (casi D, E ed F). Il percolato è stato modellato nelle calcolazioni come una falda con spessore di circa 1,0 m, che non interessa i depositi argillitici del substrato.

Le verifiche di progetto inerenti il corpo rifiuti sono state ripetute considerando un innalzamento del livello di percolato, come da richiesta di integrazione a seguito della Conferenza di Servizi del 12 settembre 2011 (Punto C). In particolare è stato introdotto un innalzamento del livello del percolato di circa 50 cm rispetto al modello esaminato precedentemente, considerando le medesime sezioni e configurazioni, così da permettere un rapido raffronto.

Le casistiche considerate risultano le seguenti:

○ SEZIONE 3

- Profilo di scavo - superfici circolari - caso A;
- Profilo di scavo e pendice a monte dell'area in ampliamento - superfici circolari - caso B;
- Profilo di scavo e pendice a monte dell'area in ampliamento - superfici poligonali - caso C;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso D;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici poligonali - caso E;

- Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso F;
- Profilo di progetto - pendice e corpo rifiuti - superfici circolari - caso G;

Le sezioni D, E ed F sono state analizzate nuovamente considerando l'innalzamento del livello del percolato:

- Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livelli percolato - superfici circolari - caso H;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livelli percolato - superfici poligonali - caso I;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livelli percolato - superfici circolari - caso L;

SEZIONE 5

- Profilo di scavo -superfici circolari - caso A;
- Profilo di scavo e pendice a monte dell'area in ampliamento -superfici circolari - caso B;
- Profilo di scavo -superfici poligonali - caso C;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso D;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici poligonali - caso E;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso F;
- Profilo di progetto - pendice e corpo rifiuti - superfici circolari - caso G;

Le sezioni D, E ed F sono state analizzate nuovamente considerando l'innalzamento del livello del percolato:

- Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livelli percolato - superfici circolari - caso H;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livelli percolato - superfici poligonali - caso I;
- Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livelli percolato - superfici circolari - caso L;

Le verifiche sono state effettuate utilizzando i parametri geotecnici caratteristici riportati nella tabella che segue, a cui sono stati applicati i coefficienti parziali M2 di Tabella 6.2.II delle NTC08, come previsto per l'approccio prescelto.

Tale caratterizzazione tiene conto degli innumerevoli dati a disposizione nell'ambito della discarica derivanti da campagne geognostiche in sito ed analisi di laboratorio, che si sono susseguite nel tempo, come già evidenziato nel paragrafo 5. Si tratta di una modellazione geotecnica già ampiamente utilizzata e collaudata nell'ambito di precedenti fasi di progettazione.

Tutte le analisi sono state condotte in condizioni a lungo termine, ritenendo tale scenario maggiormente critico, infatti le ipotesi a breve termine valutate (in condizioni non drenate) non risultavano significative in ragione del contesto d'inserimento.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI Verifiche di stabilità – Quinto settore				
Descrizione unità	γ_k [t/m ³]	$\gamma_{sat\ k}$ [t/m ³]	c'_k [KPa]	ϕ'_k [°]
R.S.U.	0,90	1,10	9	29
Coltre detritica	1,80	2,10	5	22
Substrato alterato	2,00	2,10	20	25
Substrato argillitico	2,10	2,20	50	25

Tabella 9: Parametri geotecnici caratteristici – verifiche di stabilità quinto settore.

I parametri caratteristici riportati in tabella sono rispettivamente:

γ_k = peso di volume del terreno [t/m^3];

$\gamma_{sat k}$ = peso di volume saturo del terreno [t/m^3];

c_k = coesione efficace [KPa];

ϕ'_k = angolo d'attrito interno [$^\circ$].

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica del comparto si fa riferimento ai paragrafi precedenti in cui sono indicati i parametri di pericolosità sismica ed i coefficienti sismici. Si sottolinea che è stata utilizzata una categoria di sottosuolo B, per le analisi delle condizioni di scavo, ed è stata utilizzata una categoria di sottosuolo D per le analisi delle condizioni di progetto in presenza dell'abbancamento dei R.S.U.. Per entrambe le sezioni esaminate è stato considerato cautelativamente un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,2, poiché la pendenza del versante a seguito dell'abbancamento dei rifiuti è superiore a 15° .

Nelle tabelle che seguono sono riassunti i risultati delle verifiche; nell'allegato B8 è riportato integralmente il modello assunto, le sezioni esaminate e gli output di calcolo

REALIZZAZIONE DEL QUINTO SETTORE VERIFICHE ANALITICHE DELLA STABILITA' DEL PENDIO Sezione 3			
Casi esaminati	Superfici	Bell	Jambu
Profilo di scavo - superfici circolari - caso A	N° 16	1.54	1.59
Profilo di scavo e pendice a monte dell'area in ampliamento - superfici circolari caso B	N° 17	1,23	1,27
Profilo di scavo e pendice a monte dell'area in ampliamento - superfici poligonali caso C	N° 1	1.29	1.34
	N° 2	1,44	1.44
	N° 3	1.25	1.31
Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso D	N° 47	1.30	1.35
Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici poligonali - caso E	N° 1	1.13	1.17
	N° 2	1.12	1.16
	N° 3	1.28	1.32
	N° 4	1.19	1.23
Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso F	N° 12	1.16	1.19
Profilo di progetto - pendice e corpo rifiuti - superfici circolari - caso G	N° 79	1.19	1.35
Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livello percolato - superfici circolari - caso H	N° 47	1.29	1.34
Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livello percolato - superfici poligonali - caso I	N° 1	1.11	1.15
	N° 2	1.11	1.14
	N° 3	1.28	1.32
	N° 4	1.18	1.22
Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livello percolato - superfici circolari - caso L	N° 85	1.11	1.14

Tabella 10: verifiche di stabilità sezione 3.

REALIZZAZIONE DEL QUINTO SETTORE VERIFICHE ANALITICHE DELLA STABILITA' DEL PENDIO Sezione 5			
Casi esaminati	Superfici	Bell	Jambu
Profilo di scavo - superfici circolari - caso A	N° 26	1.61	1.68
Profilo di scavo e pendice a monte dell'area in ampliamento -superfici circolari caso B	N° 42	1.22	1.26
Profilo di scavo - superfici poligonali - caso C	N° 1	3.32	3.37
	N° 2	2.54	2.53
	N° 3	1.52	1.61
Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso D	N° 75	1.39	1.43
Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici poligonali - caso E	N° 1	1.27	1.32
	N° 2	1.39	1.46
	N° 3	1.30	1.34
	N° 4	1.30	1.34
Profilo di progetto - corpo rifiuti - superfici circolari - caso F	N° 25	1.25	1.32
Profilo di progetto - pendice e corpo rifiuti - superfici circolari - caso G	N° 89	1.42	1.64
Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livello percolato - superfici circolari - caso H	N° 34	1.35	1.39
Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livello percolato - superfici poligonali - caso I	N° 1	1.27	1.31
	N° 2	1.39	1.46
	N° 3	1.29	1.33
	N° 4	1.30	1.34
Profilo di progetto - corpo rifiuti con innalzamento livello percolato - superfici circolari - caso L	N° 25	1.24	1.31

Tabella 11: verifiche di stabilità sezione 5

Le verifiche di stabilità dei profili di scavo e post operam, condotte in condizioni sismiche con parametri geotecnici ritenuti cautelativi, a cui sono stati applicati i coefficienti parziali M2 come previsto dalla normativa, hanno restituito coefficienti di sicurezza sempre maggiori di 1,0. A tale valore è già stato applicato il coefficiente parziale R2 = 1,1 come previsto dal D.M. 14-01-2008 alla Tabella 6.8.I per opere in materiali sciolti e fronti di scavo.

Pertanto le analisi evidenziano l'assenza di criticità durante le operazioni di scavo e verificano la configurazione di abbancamento, anche nel caso di aumento anomalo del percolato nel fondo vasca, ed il suo inserimento lungo il versante.

10. VERIFICHE DI STABILITÀ COMPLETAMENTO TERZO E QUARTO SETTORE

Per la valutazione di fattibilità relativa all'aumento dei volumi di abbancamento di R.S.U. nei settori III e IV, vasche 8 e 9, sono stati sottoposti a verifica profili che si ritengono rappresentativi delle volumetrie e delle geometrie di abbancamento previste. Le analisi effettuate hanno anche permesso di ottemperare alla richiesta di integrazione a seguito della Conferenza di Servizi del 12 settembre 2011 (Punto G).

Le verifiche di stabilità sono state realizzate con il programma di calcolo "CDD Win" della S.T.S. srl. La normativa utilizzata nelle fasi di calcolo è costituita dalle Norme Tecniche per le costruzioni emanate con il D.M. 14/01/2008 pubblicato nel suppl. 30 G.U. 29 del 4/01/2008, nonché dalla Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 2 Febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

Sono state eseguite verifiche agli Stati Limite Ultimi, in particolare allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV); la stabilità nei confronti dell'azione sismica è stata eseguita con il metodo pseudo-statico, applicando l'Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2).

Il programma di calcolo consente la determinazione del coefficiente di sicurezza relativo ad ipotetiche superfici di rottura, pari al rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la resistenza al taglio mobilitata. I metodi di calcolo prevedono la suddivisione della porzione di pendio in oggetto in un numero determinato di conci di uguale ampiezza. Ipotizzando che la base di ciascun concio sia piana e che lungo la superficie di scorrimento valga il criterio di rottura di mohr-coulomb, che correla tra loro le reazioni tangenziali e normali, le incognite sono le reazioni laterali, i loro punti di applicazione e le reazioni normali alla base. Tra i metodi dell'equilibrio limite sono stati adottati quelli di Bell e Jambu. Le verifiche sono state effettuate utilizzando i parametri geotecnici caratteristici riportati nella tabella che segue, a cui sono stati applicati i coefficienti parziali M2 di Tabella 6.2.II delle NTC08, come previsto per l'approccio prescelto. In considerazione della caratterizzazione geologica e geotecnica dei depositi presenti nell'area le analisi sono state effettuate in condizioni a lungo termine, ritenendo tale scenario maggiormente critico, infatti le ipotesi a breve termine valutate (in condizioni non drenate) non risultavano significative in ragione del contesto d'inserimento.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI Verifiche di stabilità completamento terzo e quarto settore				
Descrizione unità	$\gamma_{d\ k}$ [t/m ³]	$\gamma_{sat\ k}$ [t/m ³]	c'_k [KPa]	ϕ'_k [°]
R.S.U.	0,90	1,10	9	29
Coltre detritica	1,80	2,10	5	22
Substrato alterato	2,00	2,10	20	25
Substrato argillitico	2,10	2,20	50	25

Tabella 12: Parametri geotecnici caratteristici – verifiche di stabilità completamento terzo e quarto settore.

I parametri caratteristici riportati in tabella sono rispettivamente:

γ_k = peso di volume del terreno [t/m³];

γ'_k = peso di volume saturo del terreno [t/m³];

c' = coesione efficace [KPa];

ϕ'_k = angolo d'attrito interno [°].

Per la modellazione geologica del sottosuolo si è fatto riferimento ai profili stratigrafici ricostruiti nell'ambito della VIA 2009, derivanti da sondaggi a carotaggio continuo in tali settori, ed alle osservazioni dirette eseguite durante le operazioni di scavo per la predisposizione dei fondi vasca. Per la caratterizzazione geotecnica sono stati utilizzati i medesimi parametri utilizzati durante le analisi condotte nell'ambito della VIA 2009.

Nel corpo rifiuti è stata considerata la presenza di un livello di percolato attestato sul fondo vasca. Il percolato è stato modellato nelle calcolazioni come una falda con spessore massimo di circa 1,5 m, che non interessa i depositi argillitici del substrato.

Le casistiche considerate permettono il confronto in termini di sicurezza fra la Configurazione autorizzata VIA 2009 e la nuova configurazione prevista (Variante VIA 2011).

I casi in analisi sono di seguito indicati:

- VASCA 8 – PROFILO 6
 - Configurazione R.S.U. VIA 2009 - Superfici Circolari - caso A;
 - Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Poligonali - caso B;
 - Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso C;
- VASCA 8 – PROFILO 9
 - Configurazione R.S.U. VIA 2009 - Superfici Circolari - caso A;
 - Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Poligonali - caso B;
 - Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso C;
- VASCA 9 – PROFILO 12
 - Configurazione R.S.U. VIA 2009 - Superfici Poligonali - caso A;
 - Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso B;
 - Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Poligonali - caso C;
 - Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso D;

Nelle tabelle che seguono sono riassunti i risultati delle analisi; nell'allegato B9 è riportato integralmente il modello assunto, le sezioni esaminate e gli output di calcolo.

VASCA 8 AUMENTO VOLUMI DI ABBANCAMENTO R.S.U. Profilo 6			
Casi esaminati	Superfici	Bell	Jambu
Configurazione R.S.U. VIA 2009 - Superfici Circolari - caso A	N° 44	1.25	1.29
Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Poligonali - caso B	N° 1	1.30	1.35
	N° 2	1.26	1.30
	N° 3	1.24	1.29
	N° 4	1.23	1.26
Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso C	N° 86	1.20	1.24

Tabella 13: Verifiche di stabilità profilo 6.

VASCA 8 AUMENTO VOLUMI DI ABBANCAMENTO R.S.U. Profilo 9			
Casi esaminati	Superfici	Bell	Jambu
Configurazione R.S.U. VIA 2009 - Superfici Circolari - caso A	N° 79	1.44	1.49
Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Poligonali - caso B	N° 1	1.30	1.35
	N° 2	1.26	1.31
	N° 3	1.49	1.52
Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso C	N° 43	1.23	1.28

Tabella 14: Verifiche di stabilità profilo 9.

VASCA 9 AUMENTO VOLUMI DI ABBANCAMENTO R.S.U. Profilo 12			
Casi esaminati	Superfici	Bell	Jambu
Configurazione R.S.U. VIA 2009 - Superfici Poligonali - caso A	N° 1	1.45	1.51
	N° 2	1.34	1.39
	N° 3	1.65	1.70
Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso B	N° 12	1.31	1.34
Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Poligonali - caso C	N° 1	1.28	1.33
	N° 2	1.39	1.42
	N° 3	1.49	1.52
	N° 4	1.38	1.43
	N° 5	1.41	1.45
Configurazione R.S.U. VARIANTE VIA 2011 - Superfici Circolari - caso D	N° 87	1.17	1.21

Tabella 15: Verifiche di stabilità profilo 12.

Le verifiche di stabilità relative al completamento III e IV settore, condotte in condizioni sismiche con parametri geotecnici ritenuti cautelativi, a cui sono stati applicati i coefficienti parziali M2 come previsto dalla normativa, hanno restituito coefficienti di sicurezza sempre maggiori di 1,0. A tale valore è già stato applicato il coefficiente parziale R2 = 1,1 come previsto dal D.M. 14-01-2008 alla Tabella 6.8.I, per opere in materiali sciolti e fronti di scavo.

Pertanto tali analisi evidenziano come gli aumenti di volumetria previsti dal progetto non determinino situazioni di criticità nei settori di scarica oggetto d'intervento.

Quanto emerso dalle verifiche di stabilità conferma appieno il quadro derivante dalle analisi geologiche svolte durante le prime fasi del progetto definitivo. Infatti il modello del sottosuolo a disposizione, derivante dalle indagini geognostiche e dai controlli in situ eseguiti durante l'approntamento dei fondi vasca, avevano evidenziato un quadro geologico del versante tale da valutare che la configurazione di abbancamento prevista per il completamento del III e IV settore, con modeste differenze rispetto a quella licenziata, non avrebbe determinato criticità ad un assetto già ampiamente verificato ed analizzato in fase di VIA 2009.

11. VERIFICHE DI STABILITÀ ARGINI DI VALLE BACINI IRRIGUI

Come illustrato nel paragrafo 8.5 il progetto prevede la realizzazione di tre bacini ad uso irriguo, con fondo e arginatura di valle in argilla compattata.

Per la verifica della stabilità degli argini sono state realizzate analisi di stabilità in condizioni sismiche con il programma di calcolo "CDD Win" della S.T.S. srl. La normativa utilizzata nelle fasi di calcolo è costituita dalle Norme Tecniche per le costruzioni emanate con il D.M. 14/01/2008 pubblicato nel suppl. 30 G.U. 29 del 4/01/2008, nonché dalla Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 2 Febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".

Sono state eseguite verifiche agli Stati Limite Ultimi, in particolare allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV); la stabilità nei confronti dell'azione sismica è stata condotta con il metodo pseudo-statico, applicando l'Approccio 1 - Combinazione 2: $(A2+M2+R2)$.

Il programma di calcolo consente la determinazione del coefficiente di sicurezza relativo ad ipotetiche superfici di rottura, pari al rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la resistenza al taglio mobilitata. I metodi di calcolo prevedono la suddivisione della porzione di pendio in oggetto in un numero determinato di conci di uguale ampiezza. Ipotizzando che la base di ciascun concio sia piana e che lungo la superficie di scorrimento valga il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, che correla tra loro le reazioni tangenziali e normali, le incognite sono le reazioni laterali, i loro punti di applicazione e le reazioni normali alla base. Tra i metodi dell'equilibrio limite sono stati adottati quelli di Bishop, Bell e Jambu.

Per ogni bacino irriguo è stato sottoposto ad analisi il profilo di progetto ritenuto più sfavorevole per quanto riguarda sia l'assetto del comparto su cui si attesta l'invaso, sia la geometrie dell'arginatura stessa.

Le casistiche considerate risultano le seguenti:

- Bacino irriguo B1 - profilo 2
- Bacino irriguo B2 - profilo 4
- Bacino irriguo B3 - profilo 7

Nelle elaborazioni di calcolo non è stata inserita una falda superficiale poiché non sono attese dispersioni dagli invasi, infatti il progetto prevede la realizzazione di un pacchetto di impermeabilizzazione su un fondo in argilla compattata.

Come evidenziato nelle allegate sezioni di verifica, le arginature ed i terreni di fondo degli invasi saranno costituiti da argille compattate, previa rimozione dei terreni di copertura maggiormente alterati.

Le verifiche sono state condotte in condizioni drenate (a lungo termine) utilizzando i parametri geotecnici caratteristici riportati nella tabella che segue, a cui sono stati applicati i coefficienti parziali $M2$ di Tabella 6.2.II delle NTC08, come previsto per l'approccio prescelto.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI Verifiche di stabilità argini bacini irrigui			
Unità litotecniche	γ_k [t/m ³]	c' [KPa]	ϕ'_k [°]
Unità A – ARGILLA COMPATTATA	1,90	10	25
Unità B – COLTRE DI COPERTURA	1,80	5	22

Tabella 16: Parametri geotecnici caratteristici – verifiche di stabilità.

I parametri caratteristici riportati in tabella sono rispettivamente:

γ_k = peso di volume del terreno [t/m³];

c' = coesione efficace [KPa];

ϕ'_k = angolo d'attrito interno [°].

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica del comparto si fa riferimento ai paragrafi precedenti in cui sono indicati i parametri di pericolosità sismica ed i coefficienti sismici. Si sottolinea che è stata utilizzata una categoria di sottosuolo B ed un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,2, poiché la pendenza media dei versanti di inserimento dei bacini è superiore a 15°. In considerazione della tipologia di opera in progetto le arginature sono state verificate considerando una classe d'uso II e una vita nominale pari a 50 anni.

Nella seguente tabella sono riassunti i risultati delle verifiche; nell'allegato B10 è riportato integralmente il modello assunto, le sezioni esaminate e gli output di calcolo.

REALIZZAZIONE DEL QUINTO SETTORE VERIFICHE ANALITICHE DELLA STABILITA' DEL PENDIO Argine tipo bacini irrigui				
	Superficie	Bishop	Bell	Jambu
Bacino irriguo B1 - profilo 2	N° 33	1.25	1.25	1.25
Bacino irriguo B2 - profilo 4	N° 34	1.18	1.17	1.17
Bacino irriguo B3 - profilo 7	N° 43	1.11	1.1	1.1

Tabella 17: Verifica di stabilità argine tipo bacini irrigui

Alla luce di quanto emerso la stabilità delle arginature di valle, così come definito nelle tavole di progetto, è verificata; per quanto riguarda la stabilità globale dei versanti si ritiene che le opere in progetto, considerata la modalità costruttiva e le contenute dimensioni non alterino l'attuale equilibrio dei comparti.

Bologna, 19 aprile 2012.

Dott. Saul Beghelli – GEOLOGO