

COMMITTENTE



## DISCARICA IN LOCALITA' TORRIONE

## DATI PROGETTISTI

COMMITTENTE



Via Vigone, 42 - 10064 PINEROLO (TO)  
Tel. 0121.2361 - Fax 0121.76665  
Cod. Fisc e P.IVA 05059960012 - C.C.I.A.A. Torino N. 680448

PROGETTISTI



Via Antonio Banfo, 43  
10155 TORINO

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

**S T U D I O  
TECNICO  
ASSOCIATO**

Ing. Sandro Teruggi  
Ing. Fausto Borgini  
Geom. Carlo Amabile  
Geom. Angelo P. Boldi  
Ing. Simone Moscardini  
Geom. Antonino Buglisi  
Geom. Bianca Mussini

Via Mameli, 33 - 15033 Casale M. (AL)  
Tel. 0142 451515 - Fax 0412 590023  
ingsta@tin.it

## LIVELLO PROGETTO

## PROGETTO ESECUTIVO

PIANTA CHIAVE - INQUADRAMENTO

TITOLO ELABORATO

## COPERTURA FINALE II° LOTTO SETTORE TORRIONE 4

## RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

CODICE ELABORATO						SCALA	CENTRO DI COSTO	COMMESSA
SETTORE	ARGOMENTO	NUM. PROGETTO	FASE PROGETTO	TIPO DOCUMENTO	PROGRESSIVO			
IA	DIS	508	PE	RG	002	-	INVES	1AK09INVES021
REVISIONE	DATA EMISSIONE	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
00	30-11-2011	PRIMA EMISSIONE				--	GPA	MD
Legenda	SETTORE	ARGOMENTO		NUMERO PROGETTO		FASE PROGETTO		TIPO DOCUMENTO
	CL Calore	AAS Area attrezzata di stoccaggio	ERN Energie rinnovabili	0xx Generale Acea	7xx Ecopunti	ES Esistente	(1° carattere)	
	GS Gas	ACE Generale Acea	PEI Polo Ecologico Integrato	1xx Polo Ecologico Integrato	75x Area attrezzata - Depuratore	ND Non definito	A Allegato	C Civile
	IA Igiene ambientale	CMP Compostaggio	IDA Impianti Digestione Anaerob.	2xx Palazzina uffici	8xx Energie rinnovabili	PD Progetto Preliminare	D Disegno	E Elettrico
	II Servizio idrico integrato	DEP Depuratore	PSG Palazzina servizi generali	3xx Compostaggio	9xx Palazzina uffici	PD Progetto Definitivo	E Elaborato	G Generico
		DIS Discarica	VAL Valorizzatore	4xx Valorizzatore	95x Impianti Digestione Anaerob.	PE Progetto Esecutivo	R Relazione	I Idraulico
		ECO Ecoisole		5xx Discarica		PV Perizia di Variante	S Specifica tecnica	M Meccanico
		EPT Ecopunti		6xx Ecoisole		SF Studio fattibilità	S Sicurezza	

## 1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato (**Elaborato 2**) costituisce la relazione geologico-geotecnica del progetto esecutivo della copertura definitiva (2° lotto) del “Torrione 4” della discarica già di smaltimento per rifiuti non pericolosi in località Torrione nel Comune di Pinerolo (TO).

Come spiegato nella relazione tecnica generale (**Elaborato 1**) i lavori in progetto riguardano la copertura finale di una parte del settore di discarica Torrione 4. In particolare si tratta di lavori di copertura della zona nord di Torrione 4, raccordati alle opere di copertura esistenti del Lotto 1.

La relazione geologica-geotecnica illustra i seguenti argomenti:

- inquadramento geomorfologico, geologico, idrogeologico e geotecnico del sito (**Capitolo 2**);
- inquadramento sismico ed azione sismica del sito (**Capitolo 3**);
- analisi di stabilità globale (**Capitolo 4**);
- analisi di stabilità locale (**Capitolo 5**).

## **2. UBICAZIONE DEL SITO E INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO**

### **2.1 Ubicazione del sito**

L'impianto di discarica di 1<sup>a</sup> categoria ed ora classificato per rifiuti non pericolosi sito in località Torrione nel Comune di Pinerolo (TO) è allo stato attuale costituito da tre discariche denominate: Torrione 1, Torrione Bis e Torrione 2 e da successive sopraelevazioni (Torrione 3 su Torrione Bis e Torrione 4 su Torrione 1 e Torrione 5 su Torrione 2).

L'area che esse occupano è prevalentemente pianeggiante e confina a Sud e Sud-Ovest con i boschi del Torrente Chisone, a Nord con la circonvallazione di Pinerolo (ex SS 23 del Sestriere), ad Est e Sud-Est con i terreni della tenuta Doria.

La discarica Torrione 2 occupa il settore occidentale dell'area, Torrione Bis/Torrione 3 il settore orientale, la discarica Torrione 1/Torrione 4 è situata tra le precedenti.

Sui settori Torrione Bis e Torrione 1, come già evidenziato sono già stati realizzati interventi di sopraelevazione: i due settori in sopraelevazione sono denominati rispettivamente Torrione 3 e Torrione 4.

Attualmente la discarica è in coltivazione nel settore Torrione 5.

Il sito risulta agevolmente raggiungibile dalla viabilità principale stradale Baudenasca e successivamente attraverso una strada parallela alla circonvallazione di Pinerolo.

### **2.2 Inquadramento geomorfologico, geologico, idrogeologico e geotecnico**

I dati relativi alle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito sono stati ricavati sulla base delle diverse campagne di indagine eseguite tra il 1990 ed il 1998 da diversi professionisti.

#### **2.2.1 *Assetto geomorfologico***

Dal punto di vista geomorfologico generale, il territorio in esame è localizzato nella piana pedemontana posta allo sbocco delle tre incisioni vallive appartenenti, spostandosi da Nord verso Sud, rispettivamente ai torrenti Lemina, Chisone e Pellice.

La suddetta pianura alluvionale ha avuto origine dai cicli deposizionali dei tre corpi idrici principali e presenta una morfologia suborizzontale con una debole inclinazione in direzione Est-Sud-Est (valori di pendenza pari a circa 1-1,5%) e con incisioni debolmente terrazzate operate dal torrente Chisone nel settore meridionale.

L'area occupata dalla discarica ricade a sud di Pinerolo, in un settore di territorio compreso tra il torrente Chisone a Sud ed il torrente Lemina a Nord. In particolare, i torrenti Chisone e Lemina scorrono con direzione orientata da Ovest–Nord –Ovest ad Est –Sud–Est rispettivamente a 500 m a sud e a 1200 m a Nord della discarica.

L'area vasta presenta delle quote altimetriche comprese tra circa 360 m s.l.m. a Nord della tangenziale di Pinerolo e circa 345 m s.l.m. in corrispondenza dell'alveo del Chisone. L'area della discarica risulta invece ubicata ad una quota di circa 350 m s.l.m..

### 2.2.2 *Assetto geologico*

I dati di seguito riportati fanno riferimento alla letteratura geologica disponibile (**Allegato 1**) ed in particolare alla relazione geologico-tecnica allegata al progetto definitivo di ampliamento della discarica a cura del dott. Pellegatta<sup>(1)</sup>.

A scala regionale il settore in esame è caratterizzato dalla presenza di prevalenti depositi di copertura continentali del Quaternario.

Nell'area ove sorge il complesso della discarica sono riconoscibili i seguenti litotipi:

- depositi eluvio-colluviali, costituenti la copertura in posto derivante dal substrato roccioso; tali depositi si rinvencono specialmente lungo il versante idrografico sinistro del Lemina
- depositi alluvionali, comprendenti le seguenti quattro unità, dalla più antica alla più recente:
  - *fluviale del Riss*, si tratta di depositi di origine fluvioglaciale che occupano le parti a quota più elevata nella piana alluvionale dando vita ad ampie zone terrazzate (Tagliera, Bibiana, settore N di Pinerolo). Tali depositi rappresentano il rimaneggiamento dei materiali morenici operato da corpi idrici di età rissiana e sono costituiti da ciottoli in matrice sabbioso-limosa con una marcata alterazione pedogenetica assimilabile ad un paleosuolo argillificato rosso-bruno
  - *alluvioni antiche–fluvioglaciale wurmiano*, si tratta di depositi alluvionali costituenti il livello fondamentale della pianura, limitati da orli di terrazzo e leggermente sospesi rispetto alle alluvioni più recenti. Tali depositi si estendono dai rilievi del settore N di Pinerolo sino in prossimità del Chisone e sono originati dai cicli deposizionali dei corpi

---

<sup>(1)</sup> Variante al progetto combinato di impianto di trattamento e smaltimento rifiuti nel Comune di Pinerolo – Ampliamento discarica di 1° categoria in località Torrione, relazione geologico-tecnica – ACEA Pinerolo, marzo 1999.

idrici glaciali, tra cui in primo luogo il Chisone. Le suddette alluvioni risultano costituite da orizzonti ghiaioso-sabbiosi con intercalazioni limoso-argillose o francamente argillose e sono strutturate in lenti a differente granulometria in relazione alle variazioni della capacità di trasporto del corso d'acqua. Gli spessori di tali depositi sono elevati, come testimoniato dai dati stratigrafici relativi a due pozzi esistenti rispettivamente 1,2 km a W e 2 km ad E della discarica (pozzi di Tabona e di Ainana), nei quali non è stato intercettato il substrato lapideo per profondità dell'ordine dei 140-150 m dal p.c.

- *alluvioni medio-recenti*, si tratta di alluvioni deposte in prossimità dell'alveo attuale del Chisone, in posizione intermedia rispetto all'asse del torrente tra le alluvioni antiche e quelle recenti. Tali depositi sono costituiti da alternanze di sabbie e ghiaie in strutture lenticolari e risultano leggermente sospesi rispetto alle alluvioni attuali
- *alluvioni recenti*, si tratta dei depositi attuali del Chisone, localizzati nel letto del torrente e costituiti in prevalenza da ghiaie e sabbie con strutture sedimentarie simili ai due litotipi precedenti.

Gli affioramenti del substrato prequaternario sono presenti in corrispondenza dei rilievi collinari localizzati a N di Pinerolo ed allo sbocco e lungo le valli dei torrenti Lemina, Chisone e Pellice.

A scala regionale il substrato prequaternario fa parte della Serie della Dora Maira, all'interno della quale si riconoscono le seguenti due unità strutturali:

- *Complesso grafítico del pinerolese*, si tratta di gneiss minuti passanti a micascisti grafitici con locali lenti di grafite
- *Complesso cristallino pretriassico*, costituiti da prevalenti micascisti e gneiss minuti, gneiss talora laminati con locali intercalazioni di gneiss anfibolitici e filoni aplitici e da subordinati litotipi rappresentati da: anfiboliti e gneiss anfibolitici e metavulcaniti, talora graniti, quarziti, calcari cristallini e gneiss lastroidi.

I terreni su cui sorge la discarica di Torrione appartengono alle alluvioni antiche-fluvioglaciale wurmiano. Le caratteristiche litostratigrafiche di tali depositi sono state ricostruite sulla base delle perforazioni eseguite nell'area di pertinenza della discarica.

In particolare, per quanto riguarda l'assetto litostratigrafico del sito, si è fatto riferimento a diverse campagne di indagine eseguite tra il 1990 ed il 1998 da diversi professionisti.

Il quadro geologico delineato sulla base dei risultati conseguiti nelle campagne di indagini mostra per i primi trenta metri di sottosuolo una serie

stratigrafica molto uniforme, composta da depositi fluvio-glaciali quaternari, al cui interno vengono riconosciuti, dall'alto verso il basso, i seguenti quattro orizzonti principali:

- ghiaie con ciottoli e trovanti (con diametro di 45-55 cm), esteso dal piano campagna (p.c.) sino alla profondità di circa 8-9 m dal p.c.
- sabbie limose e/o limi sabbiosi con ghiaia e ciottoli, compreso tra i 9 m dal p.c. ed i 18 m dal p.c.
- orizzonte con caratteristiche alquanto simili al primo, compreso tra i 16 m dal p.c. ed i 24 m dal p.c.
- strato limoso-argilloso, il cui spessore complessivo non è mai stato completamente attraversato dalle perforazioni svolte.

### **2.2.3 Assetto idrogeologico**

Il contesto idrogeologico del sito è stato ricostruito sulla base delle campagne di indagine eseguite tra il 1990 ed il 1998 da diversi professionisti e a seguito della serie di indagini ambientali eseguite dalla Golder tra il 1999 ed il 2002.

I primi tre orizzonti descritti nel paragrafo precedente rappresentano un unico corpo acquifero ospitante una falda freatica, limitata a letto dal livello limoso-argilloso a bassa conducibilità idraulica (il cui tetto è stato intercettato ad una profondità media di 24 m dal p.c.).

Sulla base delle misure piezometriche eseguite nei pozzi di monitoraggio della discarica nel periodo compreso tra luglio 2001 ed aprile 2004 nell'ambito del Progetto Definitivo di Bonifica redatto dalla Golder (Relazione T30195/5419) è stato rilevato che l'acquifero superficiale presenta valori di soggiacenza mediamente compresi tra 10 e 15 m ed escursioni stagionali abbastanza ampie, valutate sino ad un massimo di circa 6 m. L'acquifero a superficie libera soggiacente il corpo della discarica possiede uno spessore saturo di circa 10 metri, una conducibilità idraulica di  $9,5 \times 10^{-4}$  m/s ed un gradiente idraulico pari a circa 1,5 %.

Una ricostruzione del flusso della falda nell'area intorno alla discarica è stata determinata dal Dott. Pellegatta<sup>(2)</sup> nel 1998 e confermata da successivi rilievi piezometrici eseguiti da ACEA nell'ambito del piano di sorveglianza e controllo e nell'ambito delle attività di bonifica della falda. La direzione di flusso generale è orientata da Ovest verso Est e risulta influenzata dalla ricarica del torrente Chisone.

---

<sup>(2)</sup> Dott. Pellegatta: "Relazione finale sulla realizzazione di n. 5 piezometri presso il complesso discariche Torrione", Luglio 1998 – non pubblicato.

Lo sfruttamento dell'acquifero nell'area a valle della discarica risulta attualmente limitato, sia per il fatto che la zona è servita in maniera capillare dall'acquedotto comunale, sia per il progressivo depauperamento dell'acquifero, testimoniato dalla diffusa presenza di pozzi secchi o in cattive condizioni. I pochi pozzi tuttora attivi hanno un uso prevalentemente irriguo e/o zootecnico.

L'orientamento della direzione di flusso della falda è confermato dalle più recenti misure piezometriche eseguite nei pozzi di monitoraggio della discarica. In particolare, non sono state osservate variazioni della direzione di flusso dovute a variazioni stagionali del livello piezometrico.

Per quanto riguarda il franco di falda rispetto ai requisiti minimi previsti dal D.Lgs. 36/2003 (allegato 1, punto 2.4.2) si riportano le seguenti considerazioni.

I tre settori di discarica esistenti e realizzati entro terra (Torrione 1, Torrione bis e Torrione 2) hanno il piano di appoggio dell'impermeabilizzazione alle seguenti quote topografiche:

- Torrione 1: non nota (fondo di vecchia cava probabilmente impermeabilizzato con uno strato di argilla)
- Torrione bis: fondo a -9/10 m da piano campagna (fondo impermeabilizzato con geocomposito bentonitico e geomembrana in HDPE)
- Torrione 2: fondo a profondità media di 7,60 metri da piano campagna (fondo impermeabilizzato con strato di argilla e geomembrana in HDPE)

Il franco di falda previsto dal D.Lgs. 36/2003 è verificato dal lotto Torrione 2.

Per quanto concerne i settori in sopraelevazione Torrione 3, (sopraelevazione di Torrione bis) e Torrione 4 (sopraelevazione di Torrione 1) il franco è rispettivamente di 10,00 m e di 14,00 m.

Il settore Torrione 5 è in sopraelevazione rispetto al settore Torrione 2.

#### ***2.2.4 Caratterizzazione geotecnica di riferimento***

La caratterizzazione del sito, dal punto di vista del comportamento geotecnico dei vari orizzonti che costituiscono la discarica, è coerente con quanto riportato nel Progetto Definitivo di sopraelevazione di Torrione 4 del 2004 (Rel. Golder T40081/5514) e qui di seguito elencati.

In particolare, le proprietà geotecniche degli argini in argilla cementata sono state verificate in corso d'opera; sono state infatti effettuate prove geotecniche di laboratorio su campioni prelevati nel rilevato perimetrale ("Unità geotecnica 5 – nuovo rilevato perimetrale" nel seguito).

**Unità geotecnica 1** – Terreno in sito:

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio =  $37^\circ$

$c' =$  coesione apparente = 0 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo = 20 kN/m<sup>3</sup>

**Unità geotecnica 2** – Rifiuti solidi urbani di vecchia deposizione (Torrioni 1 e 2):

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio =  $25^\circ$

$c' =$  coesione apparente = 0÷5 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo = 9 kN/m<sup>3</sup>

**Unità geotecnica 3** – Rifiuti solidi urbani di nuova deposizione (Torrione 4 e Sopraelevazione Torrione 4):

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio =  $25^\circ$

$c' =$  coesione apparente = 5 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo = 10 kN/m<sup>3</sup>

**Unità geotecnica 4** – Materiale costituente il rilevato perimetrale preesistente.

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio =  $35^\circ$

$c' =$  coesione apparente = 5 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo = 19,5 kN/m<sup>3</sup>

**Unità geotecnica 5** – Materiale costituente il nuovo rilevato perimetrale:

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio =  $25^\circ$

$c' =$  coesione apparente = 88 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo = 20 kN/m<sup>3</sup>

**Unità geotecnica 6** – Copertura definitiva; costituita da strati di diversi materiali:

- terreno agrario:

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio =  $32^\circ$



$c' =$  coesione apparente = 2 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo= 19 kN/m<sup>3</sup>

- strato drenante di ghiaia:

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio = 35°

$c' =$  coesione apparente = 0 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo= 19 kN/m<sup>3</sup>

- strato di argilla compattata:

$\phi' =$  angolo di resistenza al taglio = 32°

$c' =$  coesione apparente = 10 kPa

$\gamma =$  peso di volume saturo= 19 kN/m<sup>3</sup>

La **Tabella 1** riassume i parametri geotecnici di riferimento sopra definiti.

La quota del percolato all'interno della discarica è stata assunta pari al massimo livello raggiunto dai nuovi rifiuti in corrispondenza dell'argine.

**Tabella 1:** Caratterizzazione geotecnica delle Unità geotecniche

Unità geotecnica	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)
1	Terreno in sito	20	37	0
2	RSU vecchi	9	25	0÷5
3	RSU nuovi	10	25	5
4	Rilevati preesistenti	19,5	35	5
5	Rilevati nuovi	20	25	88
6	Copertura definitiva	19	32	2

### 3. INQUADRAMENTO SISMICO E AZIONE SISMICA DEL SITO

#### 3.1 Definizione della pericolosità sismica del sito

Secondo la normativa vigente, D.M. 14 Gennaio 2008 (*Norme Tecniche per le Costruzioni*), l'azione sismica di progetto è valutata in funzione della pericolosità sismica del sito, fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Le forme spettrali previste dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{Vr}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati.

In particolare, la vita di riferimento è espressa come prodotto tra la vita nominale dell'opera ( $V_N$ ) ed il coefficiente d'uso ( $C_U$ ), funzione della classe d'uso dell'opera secondo la seguente **Tabella 2**.

**Tabella 2:** Vita di riferimento dell'opera

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Le classi d'uso sono così definite:

- *Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- *Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

- *Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- *Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva **Tabella 3**.

**Tabella 3:** Probabilità di superamento

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

In cui gli stati limite di riferimento sono così definiti:

- *Stato Limite di Operatività (SLO):* a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- *Stato Limite di Danno (SLD):* a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed

orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- *Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Come parametro caratterizzante la pericolosità sismica viene utilizzato il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

### 3.1.1 Parametri sito-specifici

Il Sito è ubicato nel Comune di Pinerolo (TO), approssivamente alle coordinate 44°53'5"64 N, 07°20'3"12 E (Latitudine, Longitudine). L'area in cui è localizzata la discarica, come l'intero territorio comunale di Pinerolo, ricade nella zona 3 della classificazione sismica del territorio italiano ai sensi del O.P.C.M. 3519/2006 e D.G.R. Piemonte 19 Gennaio 2010.

In funzione della tipologia di opera, si assume:

- Vita Nominale ( $V_N$ ): 50 anni;
- Classe di uso ( $C_U$ ): III;
- Vita di Riferimento ( $V_R$ ): 75 anni;
- Stato limite di riferimento: SLC
- Probabilità di superamento ( $P_{VR}$ ): 5%
- Tempo di ritorno ( $T_R$ ): 1462 anni

La pericolosità sismica – definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ( $a_g$ ) – è stata valutata sulla base dei dati riportati nell'Allegato A delle *Norme Tecniche per le Costruzioni*.

In particolare, il reticolo di riferimento della pericolosità sismica non contempla il periodo di ritorno  $T_R = 1462$  ed il valore di  $a_g$  ad esso corrispondente è stato dunque ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nel reticolo di riferimento. Il valore della pericolosità sismica per il sito in esame è pari a:

$$a_g = 0.206$$

### **3.2 Azione sismica nelle verifiche di stabilità dei pendii**

Secondo la normativa vigente la stabilità dei rilevati arginali (ascrivibile ai pendii) nei confronti dell'azione sismica può essere verificata con metodi semplificati di tipo pseudo-statico, che consistono nel verificare la stabilità di una massa di terreno delimitata dalla superficie libera e dalla più sfavorevole delle superfici di potenziale scorrimento.

Le forze agenti sono costituite dal peso  $W$  dei terreni interessati e dalle forze di inerzia dovute all'azione sismica:

$$F_H = \pm \beta_S \cdot S_S \cdot S_T \cdot a_g \cdot W / g \qquad F_V = \pm 0,5 \cdot F_H$$

in cui  $F_H$ ,  $F_V$  sono rispettivamente le componenti orizzontale e verticale della risultante delle forze d'inerzia applicate al baricentro della massa potenzialmente instabile,  $\beta_S$  è un coefficiente di riduzione rispetto all'accelerazione massima prevista nel sito mentre i coefficienti  $S$  comprendono l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), funzione della categoria di sottosuolo.

I parametri sono definiti dalle seguenti tabelle:

**Tabella 4:** Definizione della categoria di suolo

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

**Tabella 5:** Definizione del coefficiente di riduzione

	Categoria di sottosuolo	
	<b>A</b>	<b>B, C, D, E</b>
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

**Tabella 6:** Definizione del coefficiente di amplificazione stratigrafica

Categoria sottosuolo	$S_s$
<b>A</b>	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

**Tabella 7:** Definizione del coefficiente di amplificazione topografica

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

**Tabella 8:** Definizione del coefficiente di categoria topografica

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

### 3.2.1 Parametri sito-specifici

Il terreno in sito può essere classificato come “*terreni a grana grossa mediamente addensati – categoria C*”.

Di conseguenza, i parametri per il calcolo delle forze di inerzia sono:

- $\beta_s$  (coefficiente di riduzione) = 0.24
- $S_s$  (amplificazione stratigrafica) = 1.5 (estremo superiore dell'intervallo)
- $T$  (categoria topografica) = T2
- $S_T$  (amplificazione topografica) = 1.2

Pertanto, le forze sismiche considerate nell'analisi pseudo-statica sono definite come segue:

- $F_H = \pm \beta_s \cdot S_s \cdot S_T \cdot a_g \cdot W / g = \pm 0.0907 \cdot W$
- $F_V = \pm 0,5 \cdot F_H = \pm 0.0454 \cdot W$

Dove  $a_g$  è pari a 0.206 (cfr. **Paragrafo 3.1.1**)



#### **4. ANALISI DI STABILITÀ**

Nel presente capitolo sono riportate le analisi effettuate per verificare le condizioni di stabilità dei rilevati arginali, in accordo con il D.M. 14/01/2008 “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” (NTC).

##### **4.1 Il metodo dell’equilibrio globale (GLE)**

La simulazione dei fenomeni di instabilità dei versanti è di norma svolta mediante il metodo dell’equilibrio limite globale o “metodo dei conci”, che consiste nell’ipotizzare diverse superfici di scorrimento e nel calcolare per ciascuna il fattore di sicurezza in funzione della resistenza al taglio caratteristica dei terreni coinvolti.

L’idea di discretizzare una massa di terreno potenzialmente instabile in una serie di porzioni verticali fu introdotta all’inizio del XX secolo: nel 1916, Petterson presentò uno studio di stabilità in cui veniva ipotizzata una superficie di scivolamento circolare e veniva di conseguenza valutata la stabilità della massa instabile, divisa in elementi verticali.

Nei decenni seguenti, Fellenius (1936) introdusse il “metodo svedese”, basato sugli stessi principi, mentre Janbu (1954) e Bishop (1955) svilupparono ulteriormente il metodo di calcolo.

Con l’avvento dei computer negli anni ’60 fu possibile gestire automaticamente l’approccio iterativo alla base del metodo stesso, sviluppando di conseguenza approcci matematicamente più rigorosi, come quelli proposti da Morgenstern e Price (1965) e da Spencer (1967).

Oggi giorno sono disponibili sul mercato diversi software specialistici che permettono di analizzare la stabilità dei pendii mediante molteplici approcci di calcolo: la differenza principale tra i vari algoritmi risiede nelle ipotesi alla base del calcolo stesso, ossia nelle leggi della statica che vengono considerate (o trascurate).

La formula dell’equilibrio limite globale è stata sviluppata da Fredlund e Krahn (1977,1981) ed è basata sulla verifica della stabilità della massa isolata dalla superficie di scivolamento sia nei confronti del momento totale, sia nei confronti dell’equilibrio delle forze orizzontali, in accordo con quanto proposto da Spencer (1967).

La stabilità nei confronti dei due differenti cinematismi sopraesposti è espressa mediante due fattori di sicurezza,  $F_m$  e  $F_r$ , definiti come rapporto tra la risultante delle forze instabilizzanti e la risultante di quelle stabilizzanti, calcolata per ciascun elemento costituente la massa di terreno.

L'analisi del pendio consiste generalmente nella ricerca per iterazioni successive della superficie di scivolamento a fattore di sicurezza minimo: ad un fattore di sicurezza pari ad 1 corrisponde uno stato di incipiente scivolamento, in cui le forze agenti sono pari a quelle resistenti.

#### 4.2 Parametri di calcolo

I parametri geotecnici sono stati definiti nel **Paragrafo 2.2.4**. Sulla base delle *Norme Tecniche per le Costruzioni*, le verifiche geotecniche di stabilità globale sono state eseguite secondo l'Approccio 1 allo Stato Limite ultimo (SLU), Combinazione 2.

La normativa prevede che siano applicati ai parametri geotecnici i coefficienti parziali (M2) di cui alla seguente tabella:

**Tabella 9:** – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

I parametri geotecnici di calcolo, al netto dei coefficienti parziali di cui sopra, sono i seguenti:

**Tabella 10:** – Parametri geotecnici di calcolo per condizioni statiche

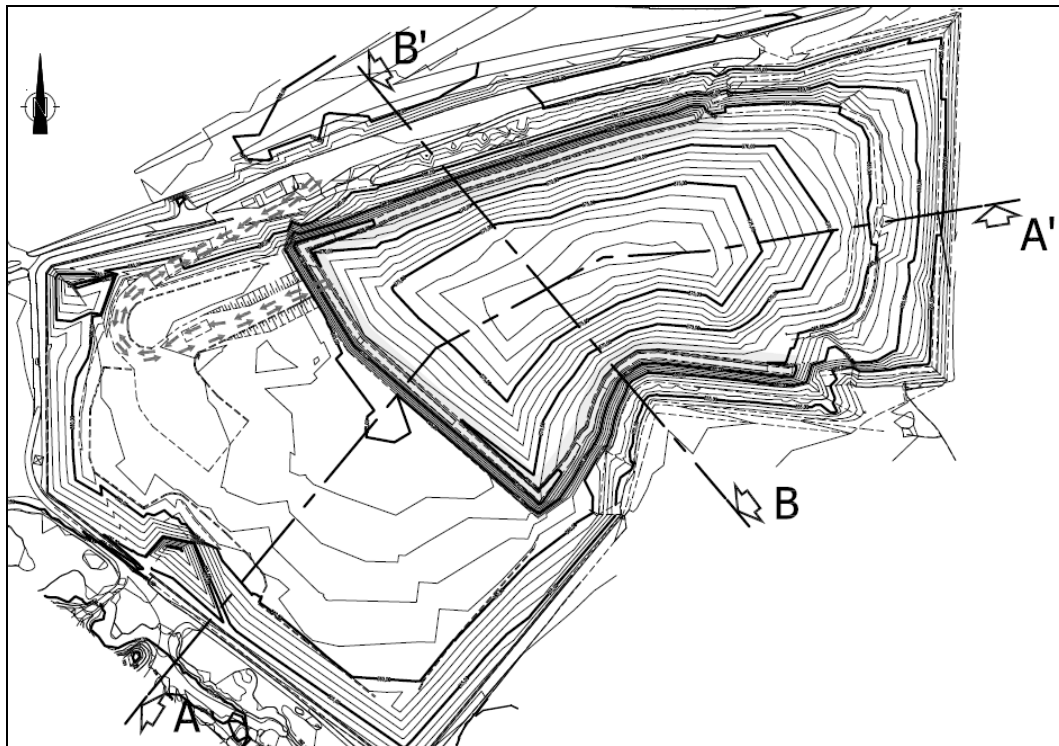
Unità geotecnica	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)
1	Terreno in sito	20	31	0
2	RSU vecchi	9	20	0÷4
3	RSU nuovi	10	20	4
4	Rilevati preesistenti	19,5	28	4
5	Rilevati nuovi	20	20	70.4
6	Copertura definitiva	19	26	1.6

#### 4.3 Analisi eseguite

Le analisi di stabilità dei rilevati arginali sono state eseguite sia in condizioni statiche che sismiche, considerando la sola configurazione di vasca piena, a sopraelevazione del Torrione 4 completata.

Per le verifiche è stato utilizzato il software Slide 5.0 della Rocscience di Toronto, con il metodo GLE (Morgestern&Price).

Le analisi sono state svolte in corrispondenza della **Sezione A-A'** in direzione Est-Ovest, e della **Sezione B-B'** in direzione Nord-Sud; entrambe rappresentate nella **Figura 1**.



**Figura 1:** – Sezioni di calcolo

Le analisi relative all'argine perimetrale lato Ovest nella sezione A-A' in direzione Ovest-Est (vedi **Figura 2**) sono riportate nelle **Figure 3, 4**. I risultati corrispondenti sono riassunti nella **Tabella 11**.

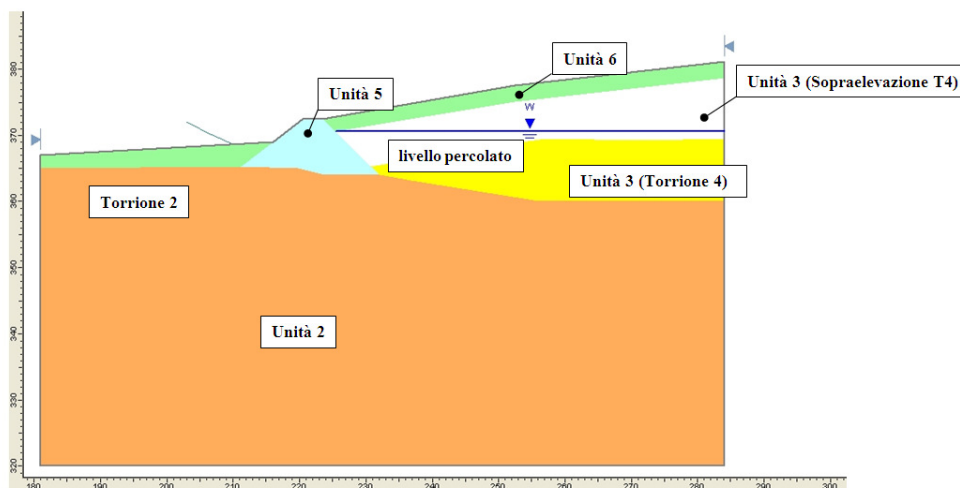
**Tabella 11:** Fattore di sicurezza  $F_s$  corrispondente alle condizioni considerate nelle analisi di stabilità nella Sezione A-A'

Condizione	Discarica piena
Statica	2.6
Sismica	2.2

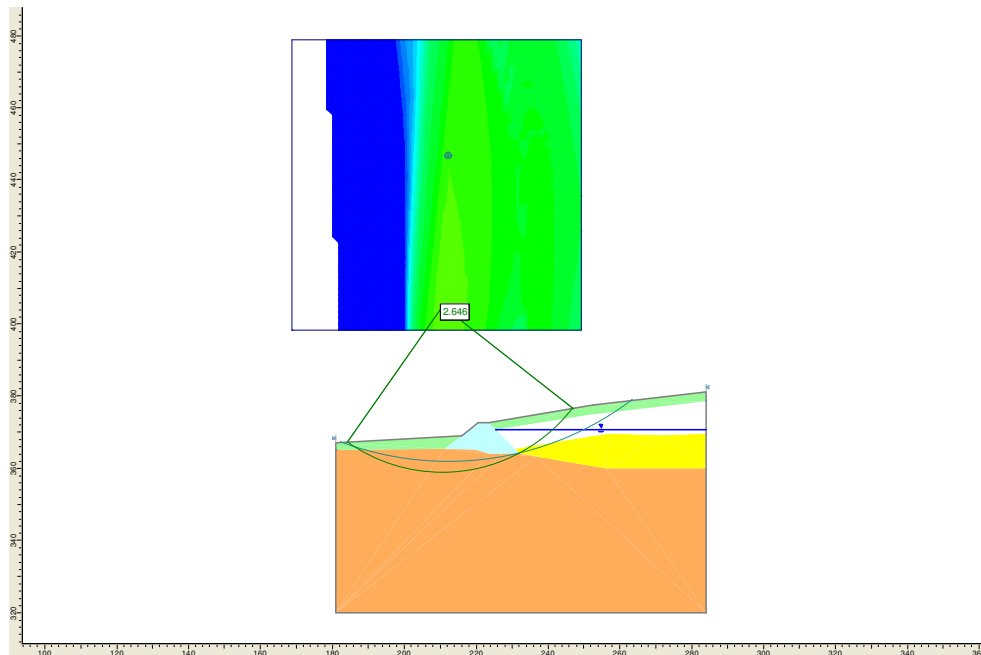
Le analisi relative all'argine perimetrale lato Nord nella sezione B-B' in direzione Nord-Sud (vedi **Figura 5**) sono riportate nelle **Figure 6, 7**. I risultati corrispondenti sono riassunti nella **Tabella 12**. I risultati sono rappresentativi anche delle condizioni di stabilità della sezione Sud-Nord (argine Nord), in quanto la geometria degli argini e della copertura è simmetrica.

**Tabella 12:** condizioni considerate nelle analisi di stabilità nella Sezione B-B'

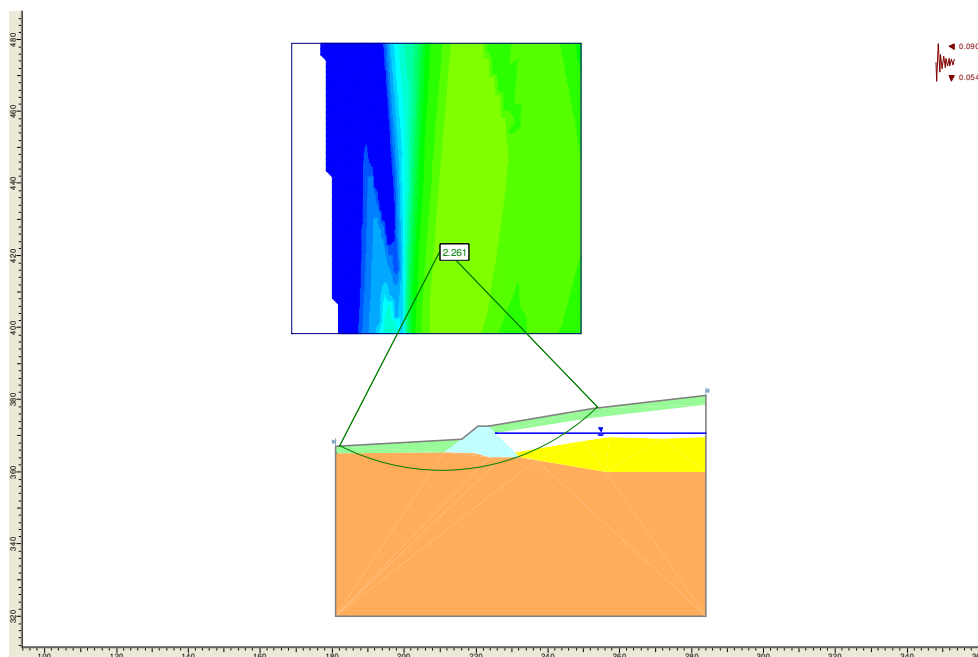
Condizione	Discarica piena
Statica	1,5
Sismica	1,3



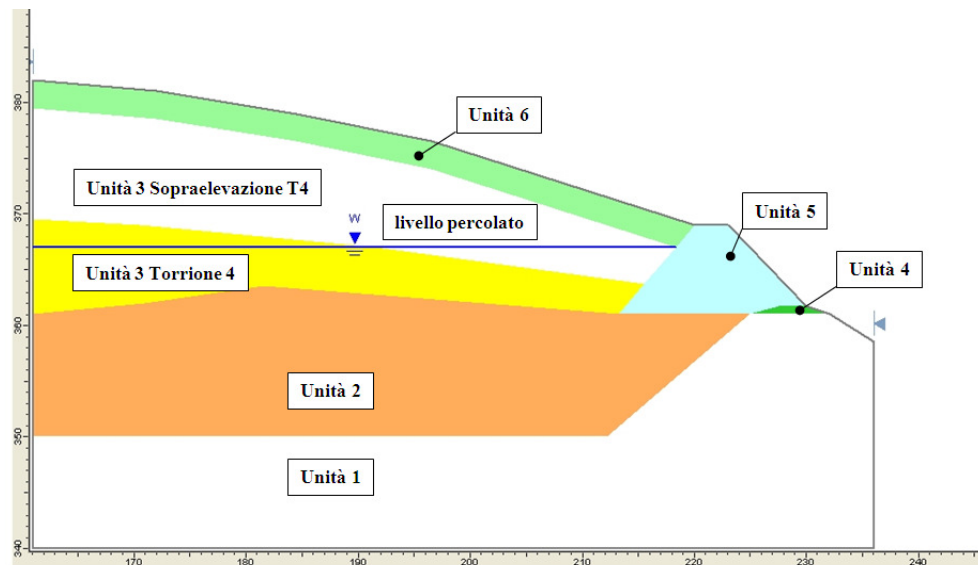
**Figura 2:** Argine di connessione tra Torrione 2 e Sopraelevazione del Torreione 4 nella sezione A-A' (direzione Ovest-Est) in condizioni di discarica piena



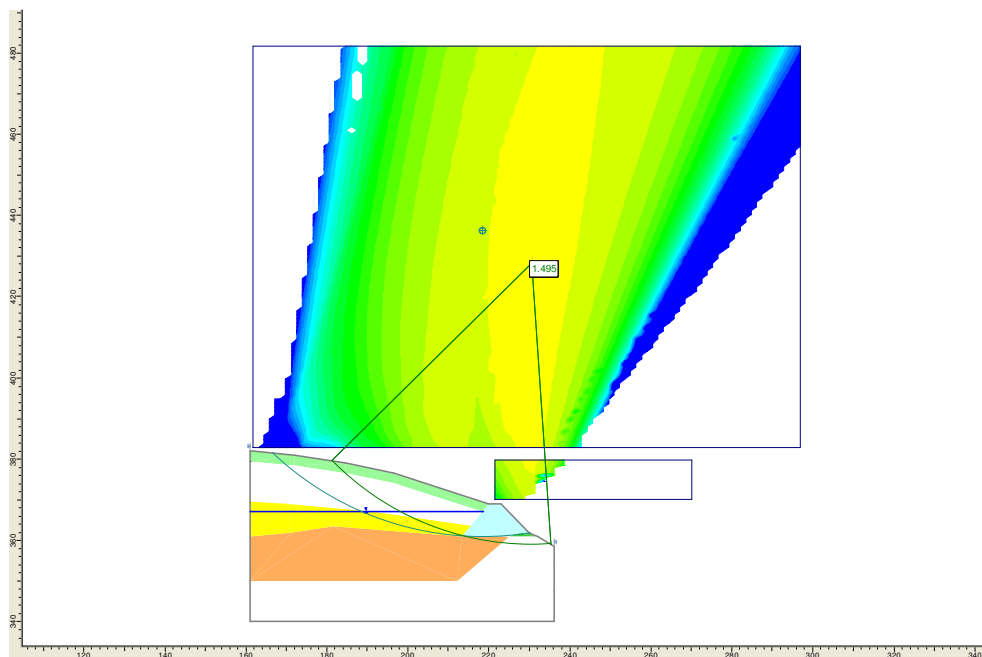
**Figura 3:** Analisi di stabilità nella sezione A-A' (direzione Ovest-Est) della discarica piena in condizioni statiche.



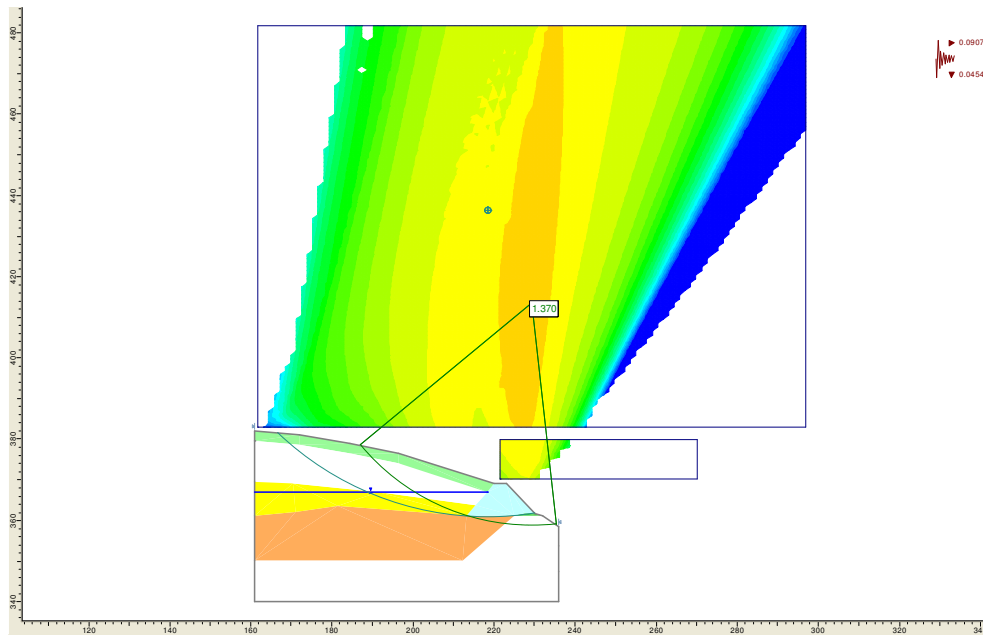
**Figura 4:** Analisi di stabilità nella sezione A-A' (direzione Ovest-Est) della discarica piena in condizioni sismiche.



**Figura 5:** Argine perimetrale della Sopraelevazione del Torrione 4 lato Nord nella sezione B-B' (direzione Nord-Sud) in condizioni di discarica piena.



**Figura 6:** Analisi di stabilità nella sezione B-B' (direzione Nord-Sud) della discarica piena in condizioni statiche.



**Figura 7:** Analisi di stabilità nella sezione B-B' (direzione Nord-Sud) della discarica piena in condizioni sismiche.

I risultati delle analisi di stabilità eseguite su sezioni rappresentative per l'argine perimetrale e per l'argine di connessione tra Torrione 2 e Sopraelevazione Torrione 4 mostrano che in tutti i casi esaminati il grado di sicurezza riguardo a cinematismi di instabilità rispetta il minimo fattore di sicurezza  $F_s=1,1$ , risultante dal fattore  $\gamma_R=1,1$  imposto dall'attuale normativa italiana vigente (D.M. 14 Gennaio 2008) sulle forze resistenti per manufatti in materiali sciolti.

## 5. VERIFICHE DI STABILITÀ LOCALE DEGLI STRATI DI COPERTURA

Oltre alle verifiche di stabilità globale della discarica sono state eseguite le verifiche di stabilità locale degli strati di copertura, analizzando il fattore di sicurezza di eventuali cinematismi di collasso che avvengano all'interno della copertura, sia attraverso i singoli strati sia in corrispondenza delle interfacce.

È stato quindi preparato un modello di calcolo di dettaglio rappresentante i singoli strati che costituiscono la copertura (strati drenanti, argilla compattata, terreno vegetale), per individuare la superficie di scivolamento più critica.

Per quanto riguarda la resistenza al taglio, i parametri geotecnici caratteristici, assunti al netto dei coefficienti parziali imposti dall'NTC2008 (Tabella 9), sono i seguenti:

Unità geotecnica	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	c'(kPa)
C1	Argilla compattata	20	15	20
C2	Sabbia/Ghiaia	18	32	0
C3	Terreno di copertura	20	26	4
C4	Rifiuti	10	20	4

Applicando i coefficienti di fattorizzazione ai parametri di resistenza al taglio si ottengono i seguenti valori di calcolo:

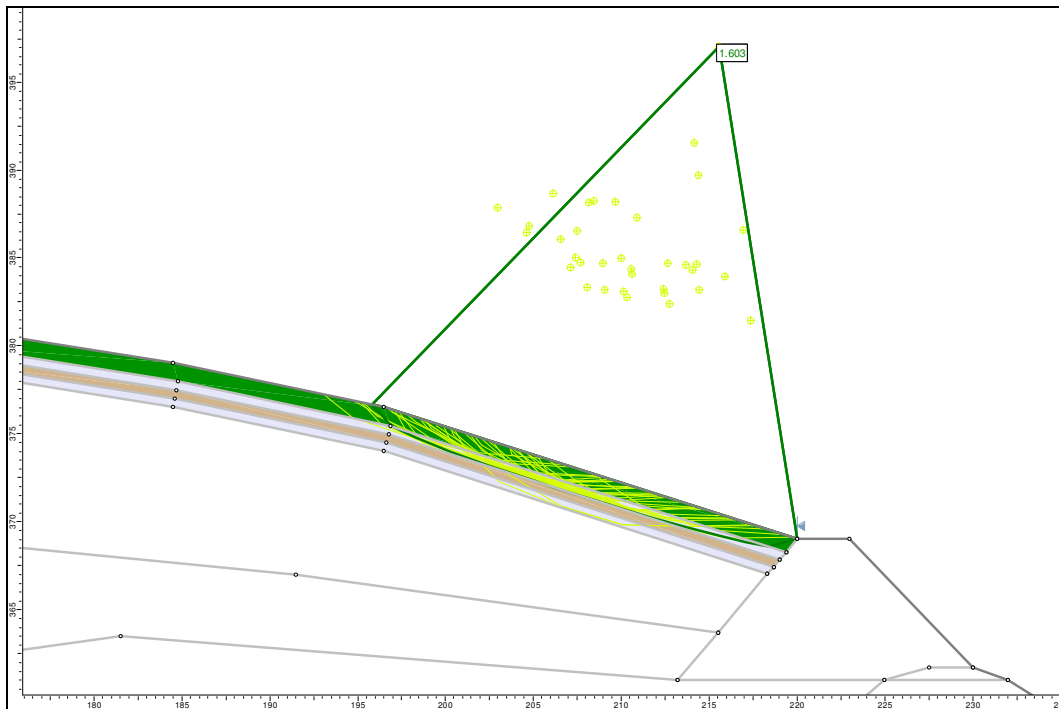
Unità geotecnica	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	c'(kPa)
C1	Argilla compattata	20	12	16
C2	Sabbia/Ghiaia	18	25.6	0
C3	Terreno di copertura	20	20.8	3.2
C4	Rifiuti	10	16	3.2

Le verifiche sono state svolte sia in condizioni statiche, in condizioni di stato limite ultimo con applicazione dei coefficienti parziali A2+M2+R2, sia in condizioni sismiche, con l'introduzione delle forze inerziali indotte dall'accelerazione sismica, così come descritte nei paragrafi precedenti.

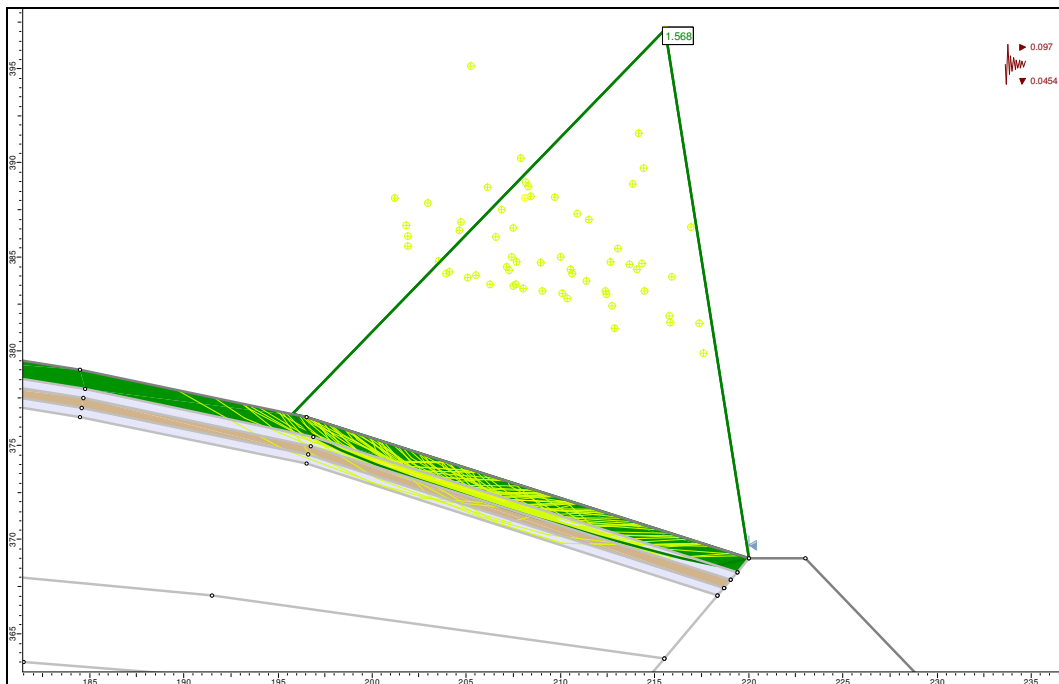
I risultati delle analisi sono illustrati nelle seguenti **Figure 8-9** e sintetizzati dalla seguente tabella:

Condizione	Verifica locale
Statica	1.60
Sismica	1.56





**Figura 8:** verifica di stabilità locale – condizioni statiche – superfici FS<2.



**Figura 9:** verifica di stabilità locale – condizioni sismiche – superfici FS<2.

I risultati ottenuti indicano che la verifica di sicurezza è positiva sia in condizioni statiche, sia in condizioni sismiche.

## **6. CONCLUSIONI**

La presente relazione geotecnica riporta, dopo l'inquadramento geomorfologico, geologico, idrogeologico, sismico e geotecnico del sito, le verifiche che sono state condotte per valutare la stabilità dei rilevati arginali e degli strati di copertura.

I risultati delle analisi di stabilità mostrano che in tutti i casi esaminati il fattore di sicurezza calcolato soddisfa i requisiti della normativa vigente (D.M. 14 Gennaio 2008).

**GOLDER ASSOCIATES S.r.l.**

---

Dott.ssa Livia Manzone  
(*Geologo*)

---

Dott. Ing. Cesare Castiglia  
(*Project Manager*)

---

Dott. Ing. Mario Vaccarone  
(*Project Director*)

# **ALLEGATO 1**

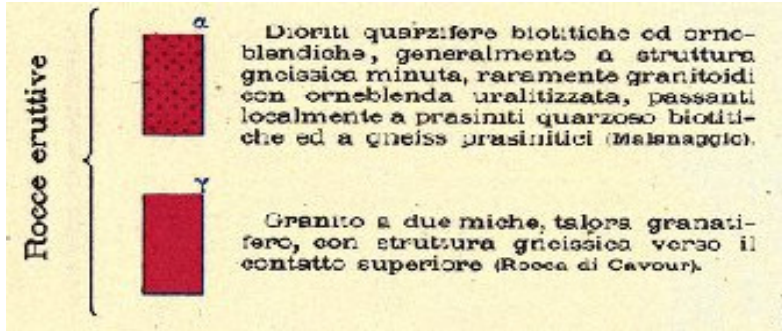
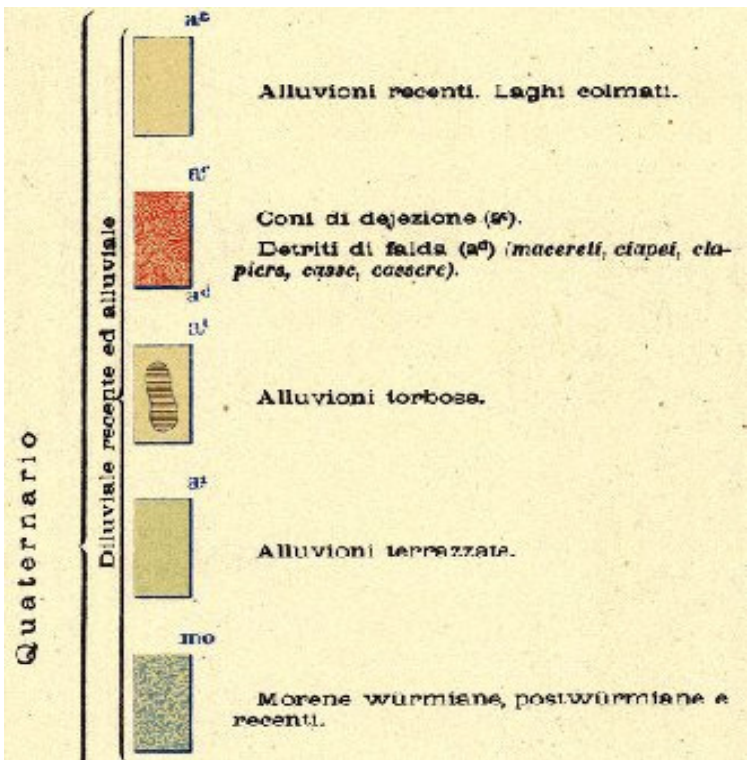
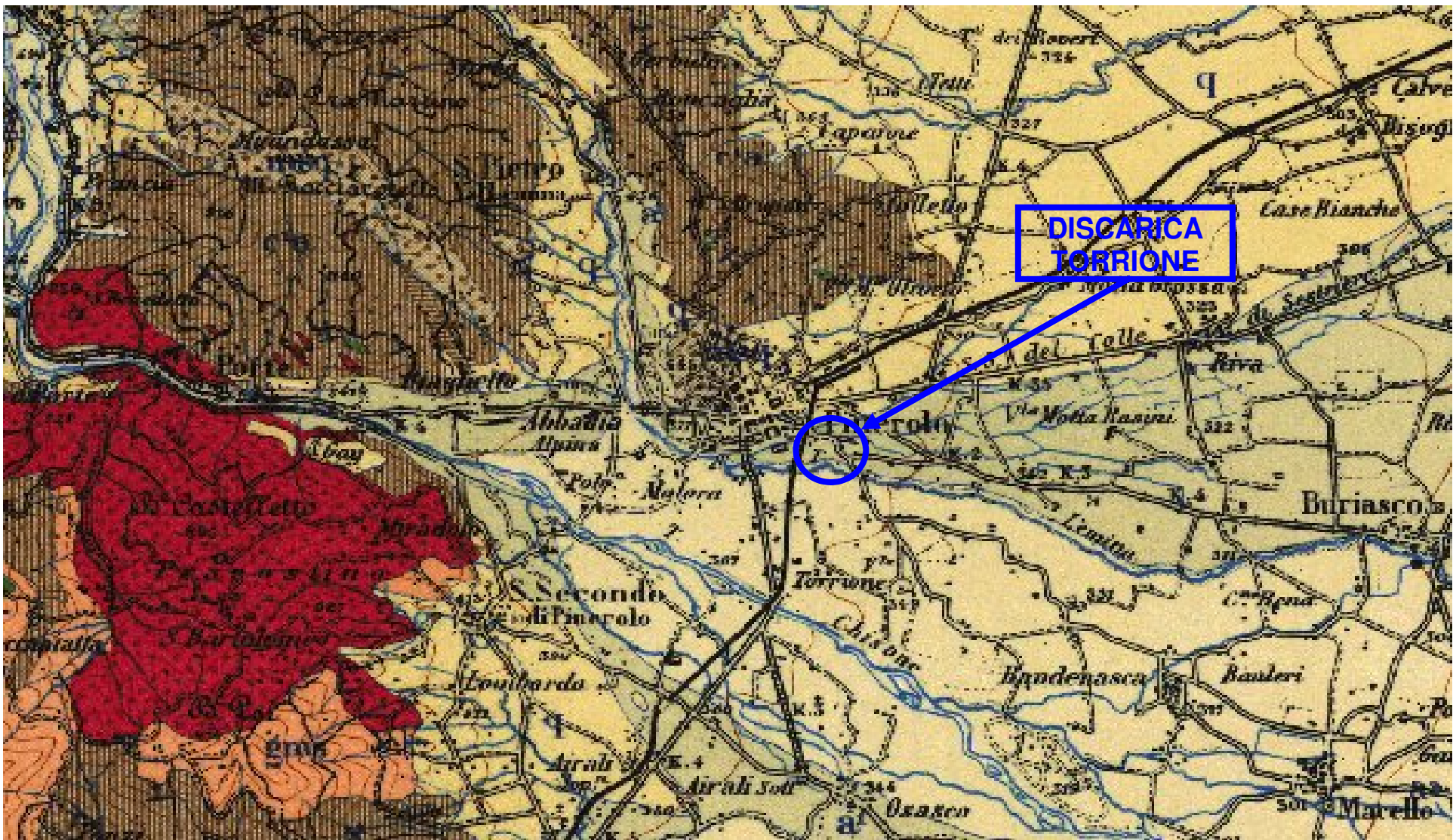
## **Carta Geologica**

APPROVATO DA: MVA

PREPARATO DA: PGA

DATE: 31/05/10

REV. 0



## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	1
2.	UBICAZIONE DEL SITO E INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO .....	2
2.1	Ubicazione del sito.....	2
2.2	Inquadramento geomorfologico, geologico, idrogeologico e geotecnico .....	2
2.2.1	Assetto geomorfologico.....	2
2.2.2	Assetto geologico.....	3
2.2.3	Assetto idrogeologico .....	5
2.2.4	Caratterizzazione geotecnica di riferimento .....	6
3.	INQUADRAMENTO SISMICO E AZIONE SISMICA DEL SITO.....	9
3.1	Definizione della pericolosità sismica del sito.....	9
3.1.1	Parametri sito-specifici .....	11
3.2	Azione sismica nelle verifiche di stabilità dei pendii.....	12
3.2.1	Parametri sito-specifici .....	15
4.	ANALISI DI STABILITÀ.....	16
4.1	Il metodo dell'equilibrio globale (GLE) .....	16
4.2	Parametri di calcolo .....	17
4.3	Analisi eseguite .....	18
5.	VERIFICHE DI STABILITÀ LOCALE DEGLI STRATI DI COPERTURA.....	22
6.	CONCLUSIONI .....	26

### **Allegato 1:** Carta Geologica