



REGIONE LIGURIA

**autostrade //** per l'italia

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA  
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA


**PROGETTO DEFINITIVO**

**RIMODELLAMENTI MORFOLOGICI**

RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO CARAVAGGIO  
RELAZIONE GEOTECNICA

<p><b>IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</b> Ing. Marco Pietro D'Angelantonio Ord. Ingg. Milano N.20155 <b>RESPONSABILE UFFICIO APE</b></p>	<p><b>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b> Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A <b>CAPO COMMESSA</b></p>	<p><b>IL DIRETTORE TECNICO</b> Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 <b>RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA TECNICA E PROGETTAZIONE</b></p>
--	--	---

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO								DATA: DICEMBRE 2014	REVISIONE				
	DIRETTORIO				FILE					n.	data			
—	codice	commessa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.							
—	1	100	1302	ST	P	A	P	E	0	6	0	8	—	—

 <p><b>ingegneria europea</b></p>	<p><b>RESPONSABILE PROGETTO GENOVA</b> Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496</p>	<p>ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :</p>	
		<p>ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :</p>	
<p>CONSULENZA A CURA DI :</p>		<p>IL RESPONSABILE UNITA' STP</p>	<p>Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154</p>

	<p>VISTO DEL COMMITTENTE</p> <p><b>autostrade //</b> per l'italia</p> <p>R.U.P. – Ing. Andrea Frediani</p>	<p>VISTO DEL CONCEDENTE</p>  <p><b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</p>
--	--	---

**SPEA Ingegneria Europea**

**COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA  
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA**

**RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO**

**CARAVAGGIO**

**RELAZIONE GEOTECNICA**



## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2. DESCRIZIONE DELLE OPERE.....</b>	<b>6</b>
<b>3. SOFTWARE DI CALCOLO .....</b>	<b>7</b>
<b>4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
4.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
<b>5. STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>8</b>
5.1 PREMESSA.....	8
5.2 PROFILO STRATIGRAFICO E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO.....	8
5.2.1 <i>Indagini di riferimento e profilo stratigrafico</i> .....	8
5.2.2 <i>Caratterizzazione geotecnica</i> .....	12
<b>6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....</b>	<b>19</b>
6.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	19
6.2 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	19
6.3 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	19
<b>7. ANALISI DI STABILITÀ.....</b>	<b>20</b>
7.1 DESCRIZIONE DEL METODO .....	20
7.2 SEZIONI DI VERIFICA.....	22
7.3 RISULTATI.....	24
<b>8. CALCOLO DEI CEDIMENTI.....</b>	<b>30</b>
<b>9. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE.....</b>	<b>31</b>
<b>10. FASI ESECUTIVE.....</b>	<b>37</b>
<b>11. MONITORAGGIO GEOTECNICO .....</b>	<b>49</b>



## 1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto previsto collegamento tra la Valfontanabuona e l'Autostrada A12 Genova – Roma è prevista la realizzazione di rimodellamento morfologico ai fini di stoccare i materiali provenienti dagli scavi e dallo smarino proveniente dalle lavorazioni in galleria.

Gli argomenti oggetto di questa relazione sono i seguenti :

- la caratterizzazione geotecnica di dettaglio per l'area oggetto dell'intervento;
- le verifiche di stabilità delle principali scarpate, sia di scavo che di riporto, per le fasi provvisorie e per la configurazione finale di progetto;
- le modalità di posa e le fasi delle lavorazioni.

Tutte le verifiche sono state condotte ai sensi della Normativa vigente (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 - NTC 2008).

## 2. DESCRIZIONE DELLE OPERE

In corrispondenza dell'imbocco Sud della nuova galleria Caravaggio (lato autostrada A12), è prevista un rimodellazione morfologico con la duplice finalità di area di gestione delle terre provenienti dallo smarino dello scavo della nuova galleria Caravaggio e di deposito delle stesse. Il deposito delle terre si evolverà durante i lavori di costruzione attraverso successive fasi di coltivazione fino a pervenire alla morfologia finale di progetto. Il rimodellamento morfologico, sarà da base per la realizzazione del nuovo svincolo di interconnessione con l'autostrada A12. Il nuovo svincolo di interconnessione prevede la formazione di ampi rilevati e di rampe di interconnessione in viadotto, sottende un contesto geologico caratterizzato da condizioni di sub affioramento.

L'esecuzione del rimodellamento è caratterizzato da due macro fasi:

- Riempimento dell'area sino alla quota di imposta dei rilevati previsti dal nuovo svincolo di interconnessione;
- Realizzazione dei rilevati di svincolo e completamento delle rampe di interconnessione.

Le operazioni di riempimento dovranno essere precedute dalla regimazione provvisoria delle aste idrauliche presenti; tale regimazione, provvisoria durante la realizzazione, diverrà, a lavori ultimati lo scarico di fondo dell'area di deposito. Inoltre, è anche prevista una regimazione superficiale provvisoria delle acque, mediante un reticolo di trincee drenanti, in modo da prevenire fenomeni di ruscellamento/erosione e infiltrazione nel corpo del deposito; le operazioni di messa a dimora del materiale saranno precedute dalle operazioni di preparazione del fondo del piano di posa asportando il materiale della coltre vegetale e regolarizzando il fondo.

Il volume del solido del riempimento (esclusi i materiali dei rilevati delle rampe è stimato all'incirca in 530'500mc di cui circa 74'400mc di materiale drenate e i rimanenti 450'100mc di materiale proveniente dagli scavi a cielo aperto e in galleria.

### 3. SOFTWARE DI CALCOLO

GEOSTUDIO 2007

### 4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 4.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [3] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [4] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [5] UNI EN 1992-1-1: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.



## 5. STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 PREMESSA

Nei paragrafi successivi è presentata la caratterizzazione geotecnica di dettaglio per l'area oggetto dell'intervento di modellazione morfologica con l'indicazione della stratigrafia di riferimento e dei relativi parametri geotecnici adottati nei calcoli e nelle verifiche.

### 5.2 PROFILO STRATIGRAFICO E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

#### 5.2.1 Indagini di riferimento e profilo stratigrafico

Nel seguito è riportato un inquadramento stratigrafico e una breve descrizione delle diverse formazioni ed i relativi parametri geotecnici di riferimento da adottare per i calcoli e le verifiche di stabilità, ricavati a partire dalla Relazione Geotecnica Generale, sono riportati nel seguito. Si rimanda, per la descrizione completa della caratterizzazione geotecnica, alla Relazione Geotecnica Generale.

I sondaggi di riferimento e le indagini geognostiche a disposizione sono riportati nelle Tabelle seguenti (**Tabella 5.1**÷**Tabella 5.3**). Sulla base delle evidenze delle indagini elencate, per quanto riguarda il substrato, la zona dello Svincolo sull'A12 è interessata dalla formazione FAN (Monte Antola). Relativamente alla copertura, la maggior parte dei sondaggi presenti sono caratterizzati dalla coltre di origine eluvio / colluviale impostata su FAN, ad eccezione di alcune verticali che hanno segnalato la presenza di materiale di riporto, essendo impostate sul rilevato ove è ubicato lo svincolo esistente (cfr. la posizione delle verticali nella planimetria della **Figura 1**), in dettaglio:

Sondaggio FB1   ↳   copertura su FAN

Sondaggio SV1   ↳   terreno di riporto

Sondaggio SV2   ↳   terreno di riporto

Sondaggio SV3   ↳   copertura su FAN

Sondaggio SV4   ↳   copertura su FAN

Sondaggio SV5   ↳   copertura su FAN

Sondaggio SV6   ↳   copertura su FAN

Sondaggio SV7   ↳   copertura su FAN

Gli spessori del riporto evidenziati dai sondaggi sono pari a circa 12.0 m nel foro SV1 ed arrivano fino a 19.0 m (SV2). Lo spessore della coltre risulta variabile da un minimo di 1.0 m (SV5) ad un massimo di 3.0 m (SV3, SV4, SV6 e SV7), mentre è pari a 2.0 m nel sondaggio FB1. Le condizioni stratigrafiche estrapolabili dai risultati dei rilievi geofisici confermano di massima quanto evidenziato dalle stratigrafie dei sondaggi. Le evidenze dei risultati ottenuti da questi rilievi sono contenute nei Profili Geotecnici allegati al seguente Progetto.

ZONA	SONDAGGI	CAMPAGNA
SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12	SV2	campagna 2011
	SV4	campagna 2011
	SV5	campagna 2011
	FB1	campagna 2011
	FB1bis-FB1ter	campagna 2013
	SV1	campagna 2013
	SV3	campagna 2013
	SV6	campagna 2013
	SV7	campagna 2013

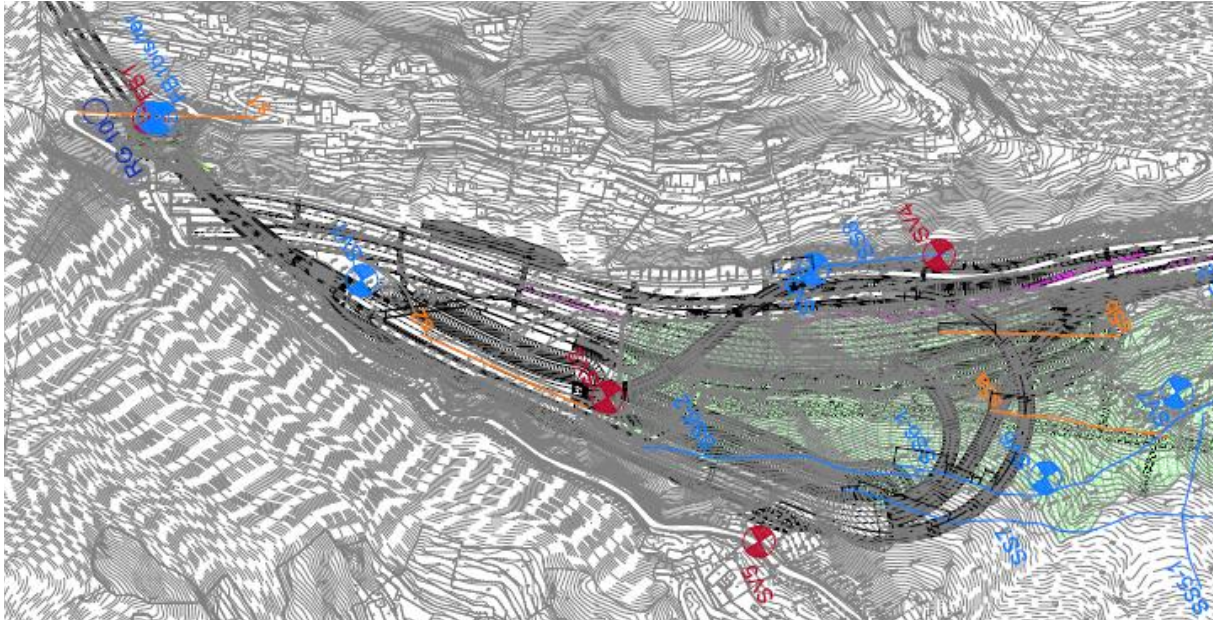
**Tabella 5.1 – Sondaggi di riferimento**

ZONA	STENDIMENTI GEOFISICI	TIPO
SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12	SS5-1	geofisica a rifrazione 2013
	SS5-2	geofisica a rifrazione 2013
	SS6-1	geofisica a rifrazione 2013
	SS6-2	geofisica a rifrazione 2013
	SS7	geofisica a rifrazione 2013
	SS8	geofisica a rifrazione 2013
	s1	geofisica a rifrazione 2011
	s2	geofisica a rifrazione 2011
	s5a	geofisica a rifrazione 2011
	s5b	geofisica a rifrazione 2011
	s6	geofisica a rifrazione 2011

**Tabella 5.2 - Indagini geofisiche**

ZONA	RILIEVI GEOMECCANICI (2011)
SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12	RG10
GALLERIA CARAVAGGIO - IMBOCCO SUD	RG6

**Tabella 5.3 - Rilievi geomeccanici**



**Figura 1 - Planimetria di ubicazione delle indagini**

I livelli di falda misurati nelle verticali SV1, SV2, SV3 e SV4 riportano profondità dei livelli di falda superiori ai 15m da bocca foro.

## 5.2.2 Caratterizzazione geotecnica

Nel seguito i principali parametri geotecnici presenti nell'area.

Rilevato stradale (esistente):

<b>g (kN/m<sup>3</sup>)</b>	~19.0 ÷ 20.0
<b>N<sub>SPT</sub> (colpi/30 cm)</b>	7 ÷ 35
<b>D<sub>r</sub> (%)</b>	-
<b>j' (°)</b>	35 ÷ 38
<b>c' (kPa)</b>	0.0
<b>c<sub>u</sub> (kPa)</b>	-
<b>GSC</b>	~ 1.0
<b>k<sub>o</sub> (-)</b>	0.38 ÷ 0.43
<b>k (m/s)</b>	1.0 10 <sup>-7</sup> ÷ 1.0 10 <sup>-4</sup>
<b>V<sub>s</sub> (m/s)</b>	130 ÷ 250
<b>G<sub>o</sub> (MPa)</b>	30 ÷ 150
<b>E<sub>o</sub> (MPa)</b>	80 ÷ 300
<b>E<sub>op</sub> (MPa)</b>	10 ÷ 30

**Tabella 4: Terreni di riporto - Parametri geotecnici caratteristici**

Copertura (su FAN):

<b>g (kN/m<sup>3</sup>)</b>	~19.0 ÷ 20.0
<b>N<sub>SPT</sub> (colpi/30 cm)</b>	10÷30 colpi/piede
<b>D<sub>r</sub> (%)</b>	-
<b>j ' (°)</b>	28 ÷ 30 materiale limoso/argilloso (*) 34 materiale sabbioso
<b>c' (kPa)</b>	0.0
<b>c<sub>u</sub> (kPa)</b>	80.0
<b>GSC</b>	~ 1.0
<b>k<sub>o</sub> (-)</b>	0.43
<b>k (m/s)</b>	1.0 10 <sup>-7</sup> ÷ 1.0 10 <sup>-4</sup>
<b>V<sub>s</sub> (m/s)</b>	125 ÷ 250
<b>G<sub>o</sub> (MPa)</b>	25 ÷ 45
<b>E<sub>o</sub> (MPa)</b>	50 ÷ 100
<b>E<sub>op</sub> (MPa)</b>	10 ÷ 15

(\*) parametro desunto da back analysis, valutato a titolo di esempio su imbocco Sud galleria Caravaggio, da confermare nei contesti delle singole opere

**Tabella 5: Copertura su FAN - Parametri geotecnici caratteristici**

Simbologia:

g = peso di volume naturale

N<sub>SPT</sub> = resistenza penetrometrica dinamica in prova SPT;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

c<sub>u</sub> = resistenza al taglio non drenata;

c' = intercetta di coesione operativa;

j ' = angolo di attrito operativo;

k<sub>o</sub> = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

V<sub>s</sub> = velocità di propagazione delle onde di taglio;

G<sub>o</sub> = modulo di taglio iniziale;

E<sub>o</sub> = modulo di Young iniziale;

E<sub>op</sub> = modulo elastico operativo;

k = coefficiente di permeabilità

Substrato Roccioso (formazione FAN):

	Matrice lapidea		Ammasso roccioso compatto	Ammasso roccioso fessurato/alterato
<b>g (kN/m<sup>3</sup>)</b>	26 , 27	<b>g (kN/m<sup>3</sup>)</b>	26 , 27	
<b>s<sub>c</sub> (MPa) (*)</b>	45 , 115	<b>RMR<sub>89</sub> (-)</b>	35 , 45	
<b>I<sub>s50</sub> (MPa)</b>	2.0 ÷ 3.0	<b>GSI (-)</b>	40	25-30
<b>s<sub>c</sub> (MPa) (**)</b>	diametrale 50 assiale 65	<b>JRC (-)</b>	4	
<b>s<sub>T</sub> (MPa)</b>		<b>JCS (MPa)</b>	40 , 65	
<b>E<sub>t50</sub> (GPa)</b>	15 , 50	<b>k (m/s)</b>	1×10 <sup>-7</sup> , 5×10 <sup>-6</sup>	
<b>MR (-)</b>	200 , 900	<b>E<sub>d</sub> (GPa)</b>	5 , 10	
<b>V<sub>p</sub> (m/s)</b>	3000 - 6500	<b>E<sub>u</sub> (GPa)</b>	10 , 15	
<b>V<sub>s</sub> (m/s)</b>	1500 - 3500	<b>E<sub>op</sub> D=0.5 (GPa)</b>	2.0 , 5.0	
<b>E<sub>din</sub> (GPa)</b>	20 , 80	<b>E<sub>op</sub> D=1.0 (GPa)</b>		0.8 , 2.0
<b>G<sub>din</sub> (GPa)</b>	5 , 30	<b>c (kPa)</b>	200 , 220 (s=0.5MPa)	80 , 100 (s=0.2MPa) 150 , 170 (s=0.5MPa)
<b>n (-)</b>	0.25	<b>j (°)</b>	40 (s=0.5MPa)	42 , 44 (s=0.2MPa) 36 (s=0.5MPa)
<b>m<sub>i</sub> (-)</b>	8	<b>m<sub>b</sub> (-)</b>	» 0.296	» 0.171
<b>m<sub>b</sub></b>		<b>s (-)</b>	» 0.0002	» 3.93×10 <sup>-5</sup>
<b>s</b>		<b>a (-)</b>	0.511	0.522
<b>a (-)</b>		<b>j<sub>p,joint</sub> (°), c<sub>p,joint</sub> (kPa)</b>		
		<b>j<sub>r,joint</sub> (°), c<sub>r,joint</sub> (kPa)</b>		

**Tabella 6: Parametri FAN**

Simbologia:

$g$	= peso di volume naturale;
$s_c$ (*)	= resistenza compressione monoassiale
$s_c$ (**)	= resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ( $s_c = 24 \cdot k_{s50}$ )
$s_T$	= resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)
$E_{t50}$	= modulo di Young tangente
MR	= rapporto di modulo ( $E_{t50}/s_c$ )
$n$	= rapporto di Poisson
$V_P$	= velocità di propagazione delle onde di compressione
$V_s$	= velocità di propagazione delle onde di taglio
$E_{din}$	= modulo elastico dinamico
$G_{din}$	= modulo di taglio dinamico
$m_i$	= coefficiente relativo alla roccia intatta
$m_b$	= parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
$s$	= parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
$a$	= parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
$c_{p,joint}$	= coesione di picco (da prova di taglio su giunto)
$j_{p,joint}$	= angolo di attrito di picco (da prova di taglio su giunto)
$c_{r,joint}$	= intercetta di coesione residua (da prova di taglio su giunto)
$j_{r,joint}$	= angolo di attrito residuo (da prova di taglio su giunto)
RMR <sub>89</sub>	= Rock Mass Rating
GSI	= Geological Strength Index
JRC	= rugosità del giunto
JCS	= resistenza a compressione del giunto
$k$	= coefficiente di permeabilità da prova Lugeon
$E_d$	= modulo di deformabilità di carico dell'ammasso (da prova dilatometrica)
$E_u$	= modulo di scarico (da prova dilatometrica)
$E_{UR}$	= modulo elastico (da prova dilatometrica)
$c$	= intercetta di coesione (criterio di rottura di Hoek & Brown)
$j$	= angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)
$s$	= pressione di confinamento



Materiali di riempimento del rimodellamento morfologico

Il materiale di riempimento saranno realizzati in accordo alle Norme Tecniche d'Appalto (NTA) applicabili ai rilevati autostradali. Saranno costituiti da:

- materiali idonei provenienti dagli scavi riutilizzabili "tal quale";
- materiali provenienti dagli scavi, resi idonei granulometricamente da apposite operazioni di frantumazione per ridurre la pezzatura massima in accordo a quanto previsto dalle NTA.

Considerata la natura dei materiali e le modalità di posa in opera, per i calcoli geotecnici si potranno utilizzare i parametri geotecnici riportati nella seguente **Tabella 7**.

<b>g (kN/m<sup>3</sup>)</b>	19.0
<b>j ' (°)</b>	35°
<b>c' (kPa)</b>	0 kPa
<b>E<sub>op1</sub></b>	30 MPa
<b>n' (-)</b>	0.25

**Tabella 7: Parametri geotecnici – Riporti**

Simbologia:

g = peso di volume naturale;

j ' = angolo di attrito "operativo";

c' = intercetta di coesione "operativa";

E<sub>op1</sub> = modulo di Young "operativo", riferito alle pressioni efficaci geostatiche, per analisi di fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati;

n' = rapporto di Poisson.

Sulla base delle analisi eseguite e della caratterizzazione geotecnica dell'area, nei calcoli sono stati assunti i seguenti parametri caratteristici di resistenza del terreno:

Materiali di riporto esistente (rilevato);

g<sub>k</sub> = 20 KN/m<sup>3</sup>

f<sub>k</sub> = 35°

c' = 0 kPa

Materiale di copertura

$$g_k = 19.5 \text{ KN/m}^3$$

$$f_k = 30^\circ$$

$f_R = 24^\circ$  (valore residuo da letteratura nelle analisi di stabilità il valore è stato fattorizzato con coefficiente pari a 1.25, viste le incertezze sul dato)

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

FAN alt

$$g_k = 26 \text{ KN/m}^3$$

$$f_k = 42^\circ$$

$$c' = 80 \text{ kPa}$$

Materiale di riempimento

$$g_k = 19 \text{ KN/m}^3$$

$$f_k = 35^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

La stratigrafia di calcolo è indicata nelle figure relative alle analisi di stabilità. (vedi per. **XX**)

In corrispondenza dell'area in progetto è presente un'area caratterizzata da un movimento cartografato come quiescente (**Figura 2**). La posizione è tale che il rimodellamento ha una funzione di stabilizzare l'area. La presenza di tale fenomeno è presa in considerazione nelle analisi di stabilità adottando parametri residui per i terreni di copertura. Il valore assunto da letteratura è stato, nelle analisi di stabilità, fattorizzato con un coefficiente pari a 1.25 (da applicarsi alla tangente dell'angolo di resistenza al taglio) in quanto non si hanno risultati di misura diretta dei materiali dell'area.

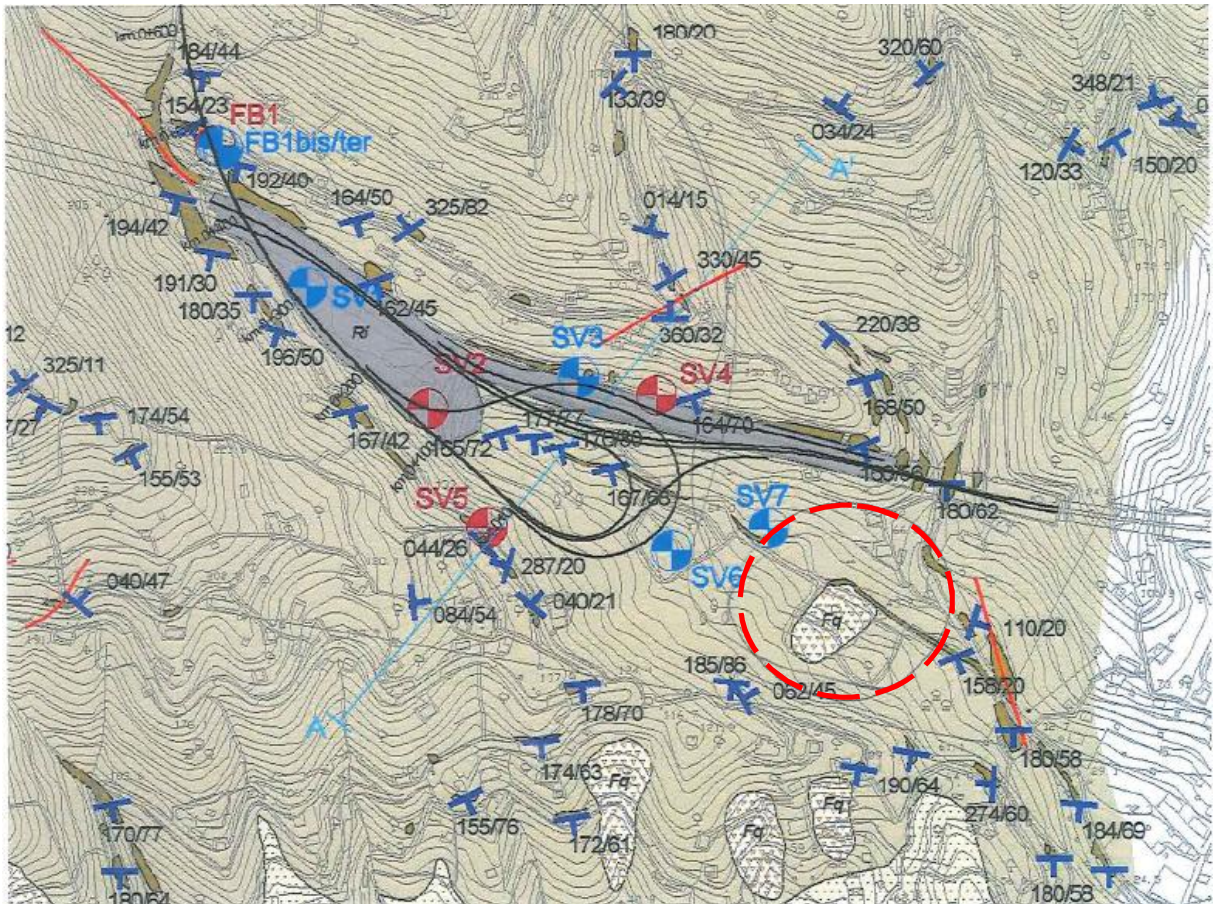


Figura 2 –Stralcio carta geomorfologica

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 6.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Il terreno di fondazione è stato classificato come di Categoria E: “*Depositi di terreni a grana grossa o terreni a grana fina con spessori non superiore a 20 m posti sul substrato di riferimento (con  $V_s$  800 m/s)*”. La scelta deriva dal fatto che siamo in presenza di un deposito di riempimento caratterizzato da un forte contrasto in termini di rigidezza con il substrato sottostante.

### 6.2 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le verifiche di analisi di stabilità globale sono state condotte considerando:

- vita nominale  $V_N = 50$  anni
- classe d'uso / Coefficiente d'uso  $IV / C_U = 2.0$

### 6.3 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

in base a quanto sopra risulta:

- periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U = 100$  anni
- stato limite ultimo (SLV) 949 anni
- accelerazione massima attesa su suolo rigido 0.108g
- coefficiente topografico ( $S_T$ )  $T2 \Rightarrow S_T=1.2$
- coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_S$ )  $S_S=1.6$
- accelerazione di progetto massima attesa ( $a_{max}$ )  $a_{max}=0.207$

## 7. ANALISI DI STABILITÀ

### 7.1 DESCRIZIONE DEL METODO

Si effettua una verifica di stabilità globale delle opere, ottenendo il coefficiente di sicurezza alla stabilità della parete di scavo attraverso il metodo di Bishop nell'ipotesi di superfici di scivolamento circolari. Il programma utilizzato (SLOPE W) fornisce il coefficiente di sicurezza delle superfici più critiche. Il metodo valuta le condizioni di stabilità di un pendio naturale o di una scarpata artificiale ricercando per tentativi la superficie di scivolamento "critica" (ossia quella a cui compete il coefficiente di sicurezza  $F_S$  minimo). Il programma permette il calcolo dei coefficienti di sicurezza di superfici di potenziale scivolamento sia circolari sia di geometria qualsiasi. Nel caso di superfici circolari è possibile definire una griglia al cui interno sono situati i centri delle superfici di scivolamento per le quali si ricerca il coefficiente di sicurezza. In tale maniera è possibile individuare la superficie per la quale si ha il coefficiente di sicurezza minimo.

Le verifiche di stabilità globale del rimodellamento è stata condotta secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2:

- **A2 + M2 + R2**

In accordo a quanto specificato dalle NTC2008.

Tale verifica è svolta mediante un calcolo all'equilibrio limite per mezzo del software Slope/W; tra i metodi di calcolo proposti si è scelto di considerare il metodo di Bishop.

La ricerca delle potenziali superfici di scorrimento viene effettuata imponendo il punto di passaggio per il piede della scapata.

In accordo alla terminologia della normativa (Par. 6.8.2 delle NTC 2008): deve risultare:

$$R_d / E_d^3 \geq g_R \text{ con } g_R = 1.1$$

Le verifiche in condizioni statiche sono state condotte per sezione in configurazione provvisoria (durante le operazioni di riempimento) e in configurazione finale.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte come descritto nell'esempio di calcolo riportato al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [2] la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif. [1] inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif. [1], i coefficienti sismici  $k_h$  (orizzontale) e  $k_v$  (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo:

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}=0.207$ )

	Categoria di sottosuolo	
	<b>A</b>	<b>B,C,D,E</b>
	$b_s$	$b_s$
$0.2 < a_{max} (g) < 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_{max} (g) < 0.2$	0.27	0.24
$a_{max} (g) < 0.1$	0.20	0.20

**Tabella 8: Coefficiente  $b_s$**

Quindi avremo:

<b>STATO LIMITE</b>	<b><math>T_R</math></b>	<b><math>k_h</math></b>	<b><math>k_v</math></b>
	<b>[anni]</b>	<b>[g]</b>	<b>[g]</b>
SLV	949	0.0581	$\pm 0.029$

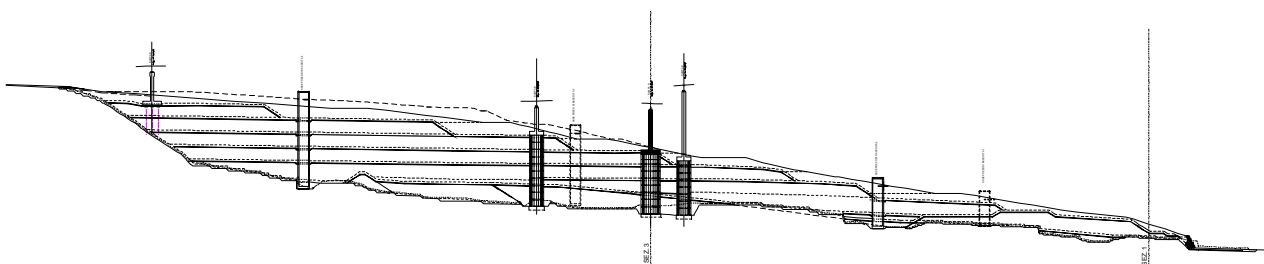
**Tabella 9: Valori dell'accelerazione equivalente di progetto  $k_h$  per le verifiche di stabilità globale**

## 7.2 SEZIONI DI VERIFICA

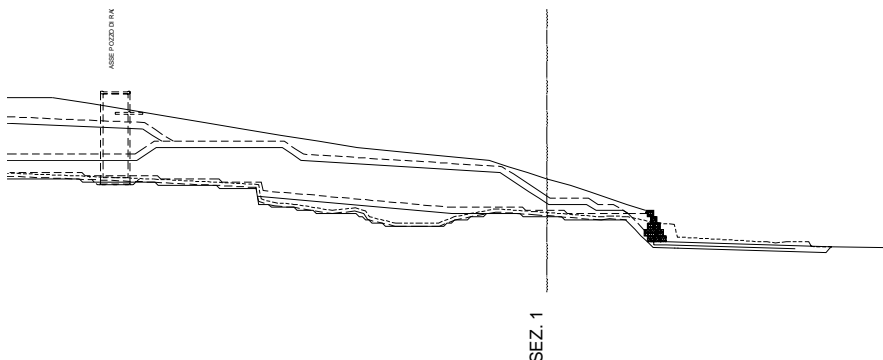
La morfologia generale dell'area è favorevole a garantire la stabilità globale e locale del riempimento nella sua morfologia finale, in quanto esso riempirà l'impluvio in corrispondenza dell'area di pacheggio Caravaggio.

Si riportano nelle figure le sezioni di verifica.

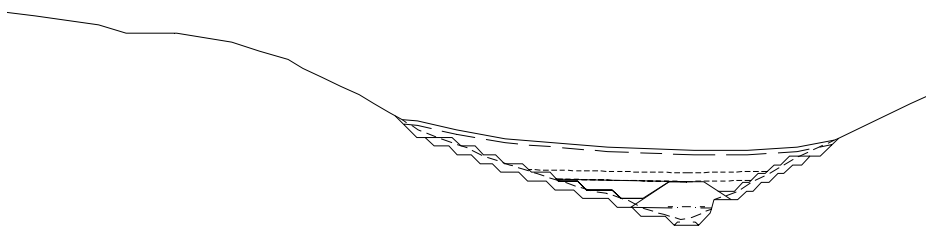
### Configurazione finale – Stabilità globale



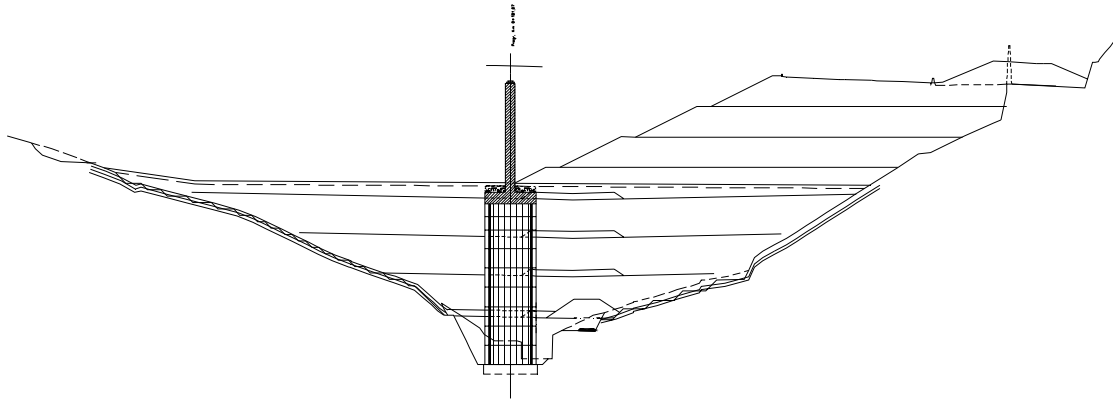
### Configurazione finale – Piede del riempimento



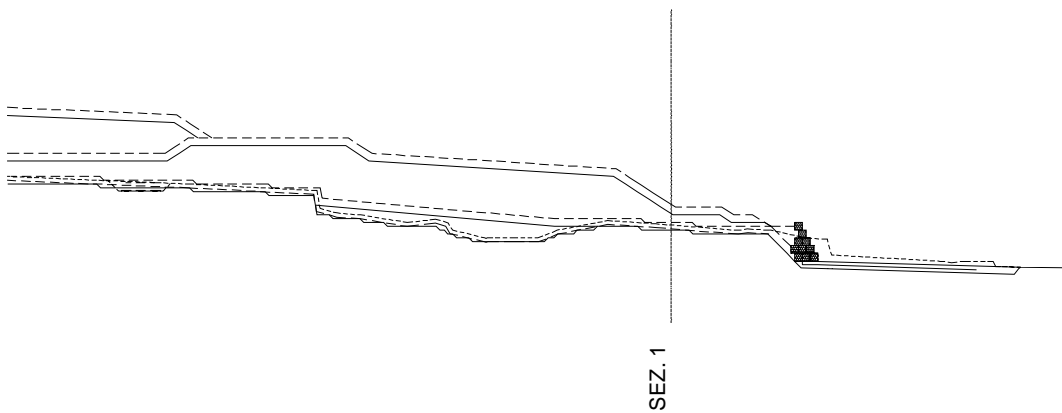
### Configurazione finale – Versante in frana



Configurazione finale – Rilevato autostradale

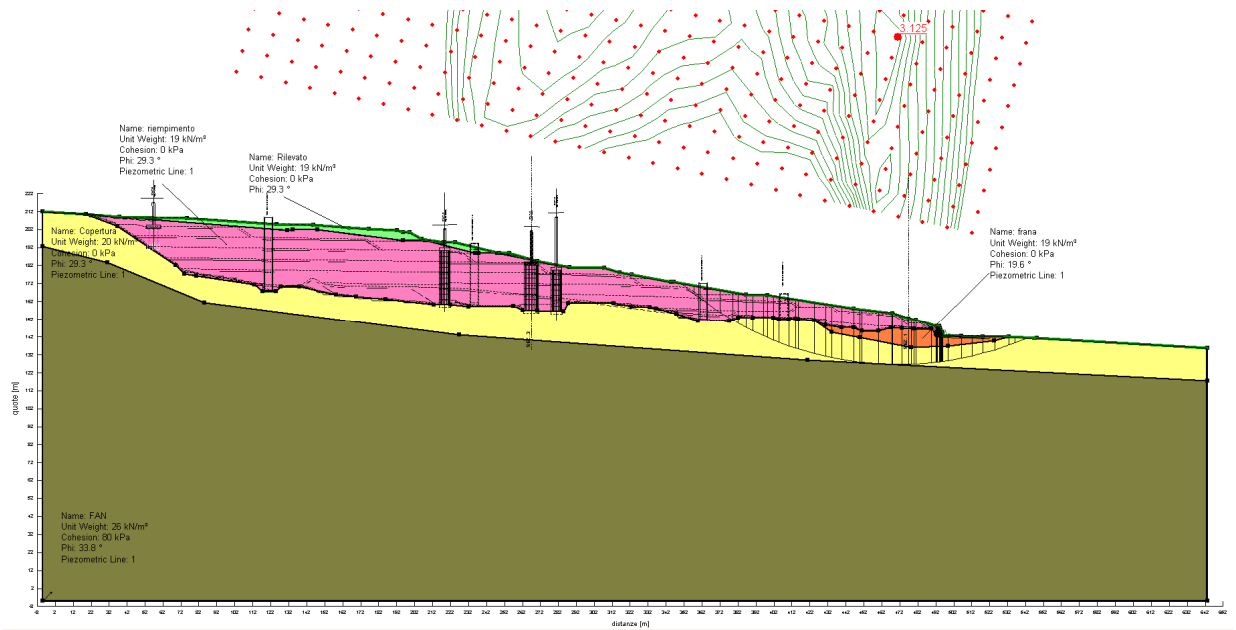


Scarpate provvisorie

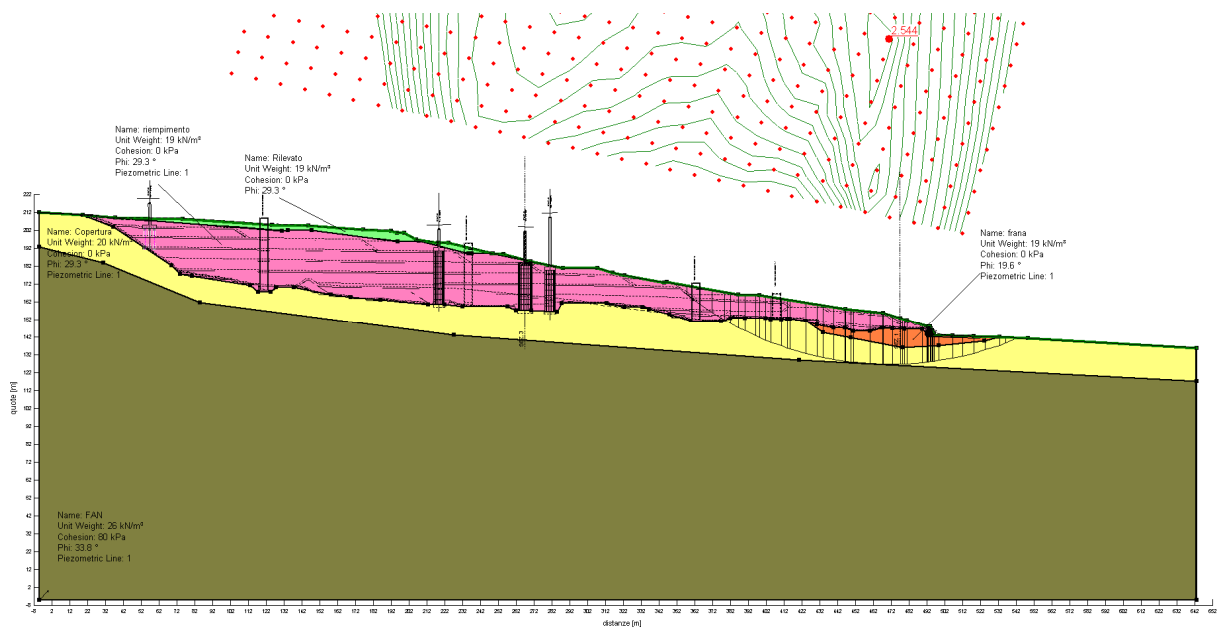




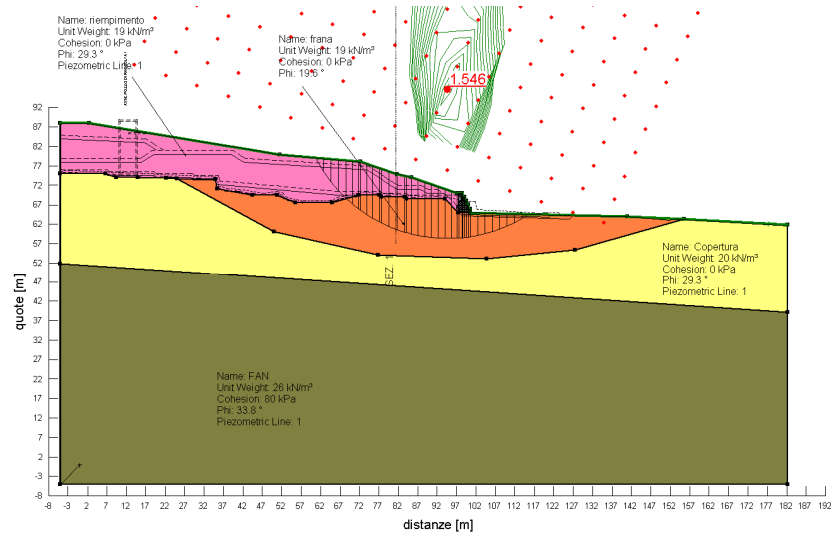
### 7.3 RISULTATI



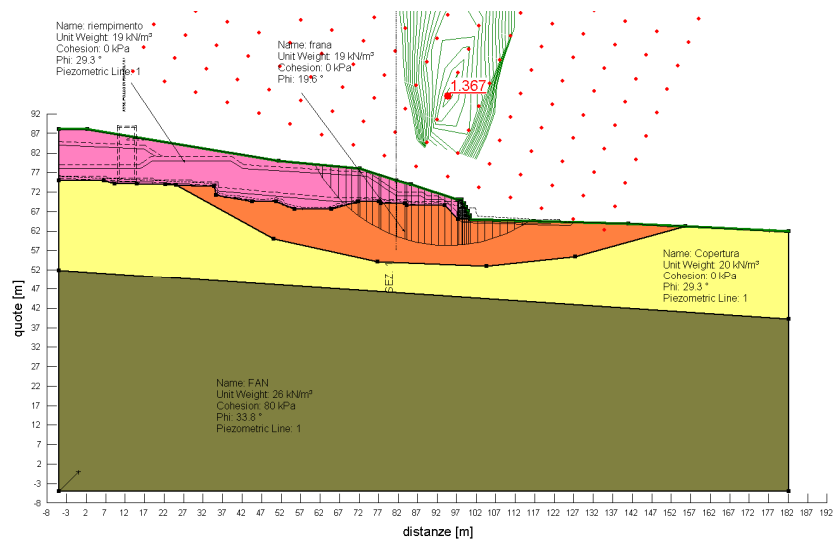
**Figura 3 –Stabilità globale - combinazione Statica**



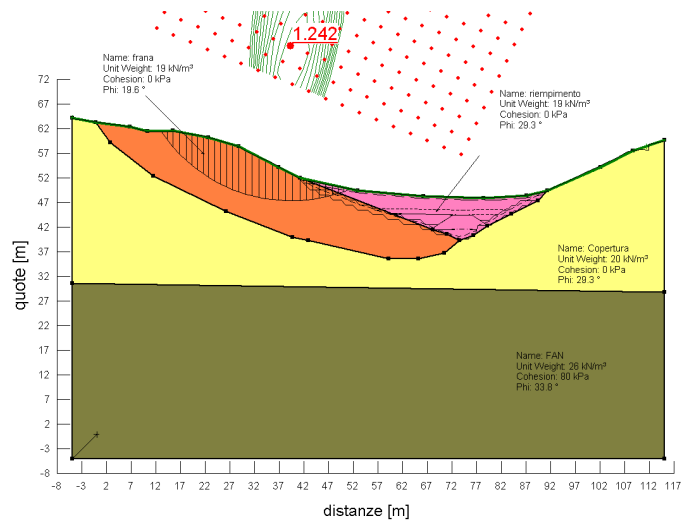
**Figura 4 –Stabilità globale - combinazione Sismica**



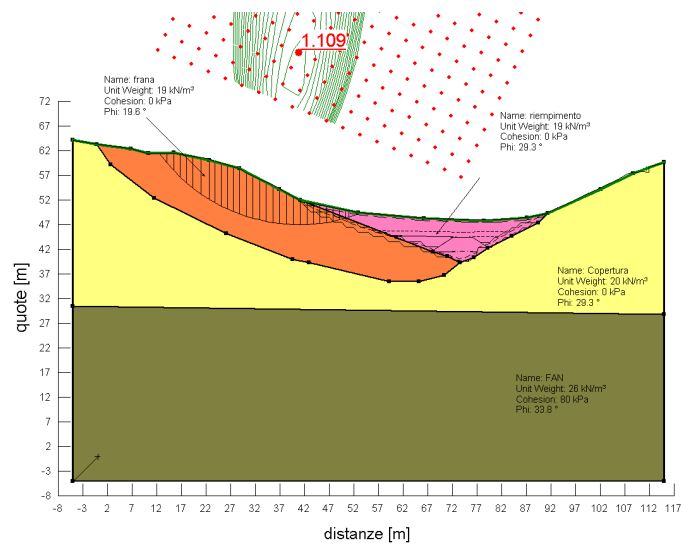
**Figura 5 –Stabilità al piede - combinazione Statica**



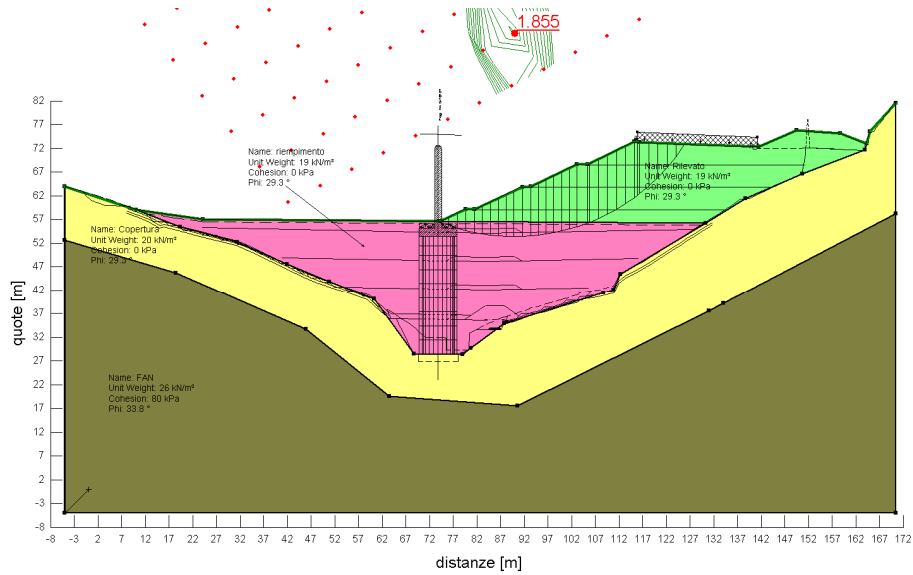
**Figura 6 –Stabilità al piede - combinazione Sismica**



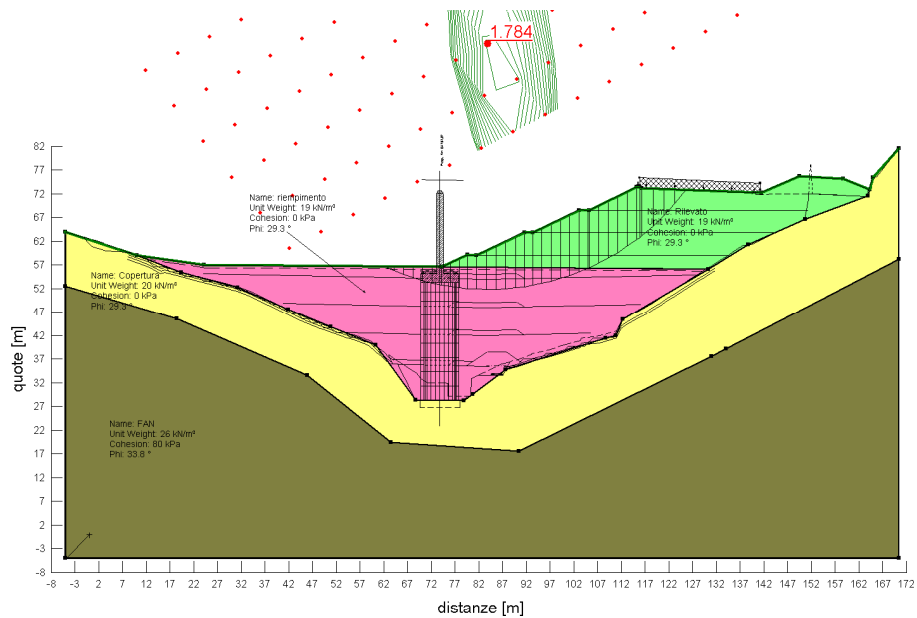
**Figura 7 –Stabilità di versante in frana - combinazione Statica**



**Figura 8 –Stabilità di versante in frana - combinazione Sismica**

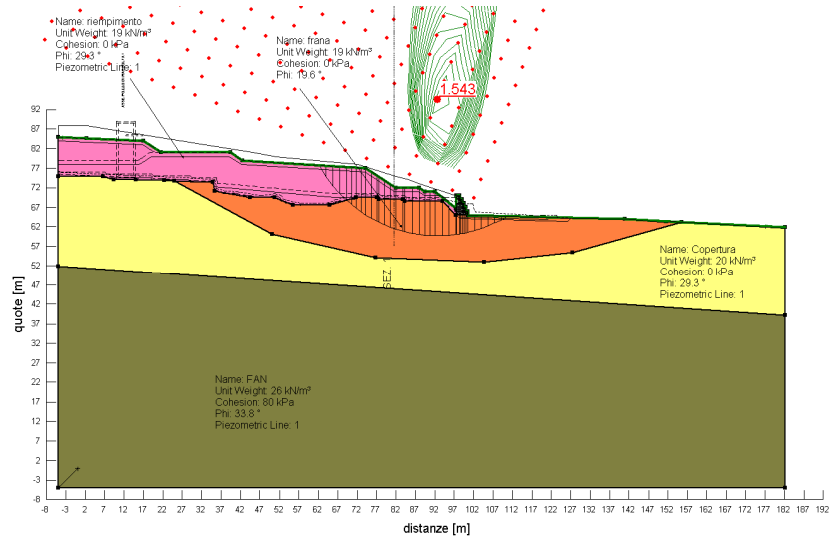


**Figura 9 – Stabilità rilevato finale - combinazione Statica**

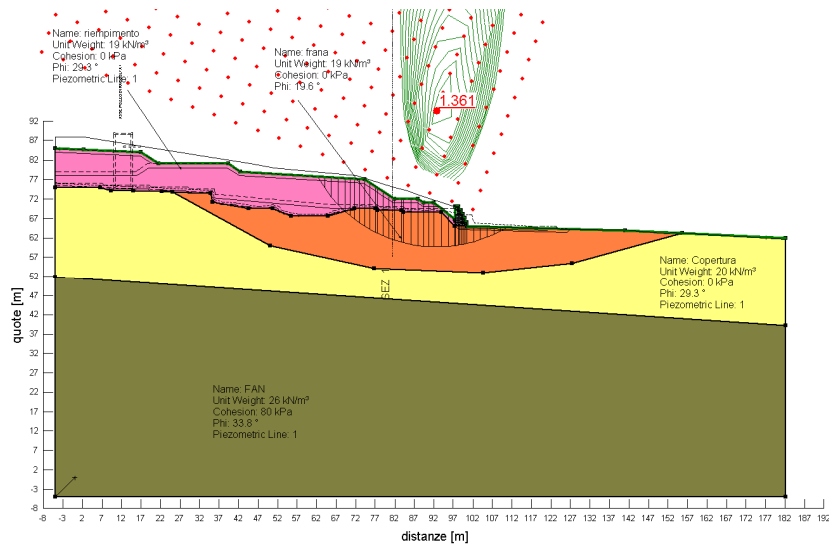


**Figura 10 – Stabilità rilevato finale - combinazione Sismica**





**Figura 11 –Stabilità riempimento provvisorio - combinazione Statica**



**Figura 12 –Stabilità riempimento provvisorio - combinazione Sismica**

## 8. CALCOLO DEI CEDIMENTI

Alla luce delle seguenti de:

- la natura dei materiali provenienti dagli scavi e riporti provenienti dalle operazioni di scavo della galleria Caravaggio;
- il un contesto geologico caratterizzato da condizioni di subaffioramento della Formazione del Monte Antola (FAN)
- il modesto spessore delle coltre (circa 5m).







si ritiene che l'entità dei cedimenti indotti sia prevalentemente dovuta all'assestamento del materiale posto in opera, durante le fasi di coltivazione del rimodellamento morfologico.

## 9. RACCOMANDAZIONI ESECUTIVE

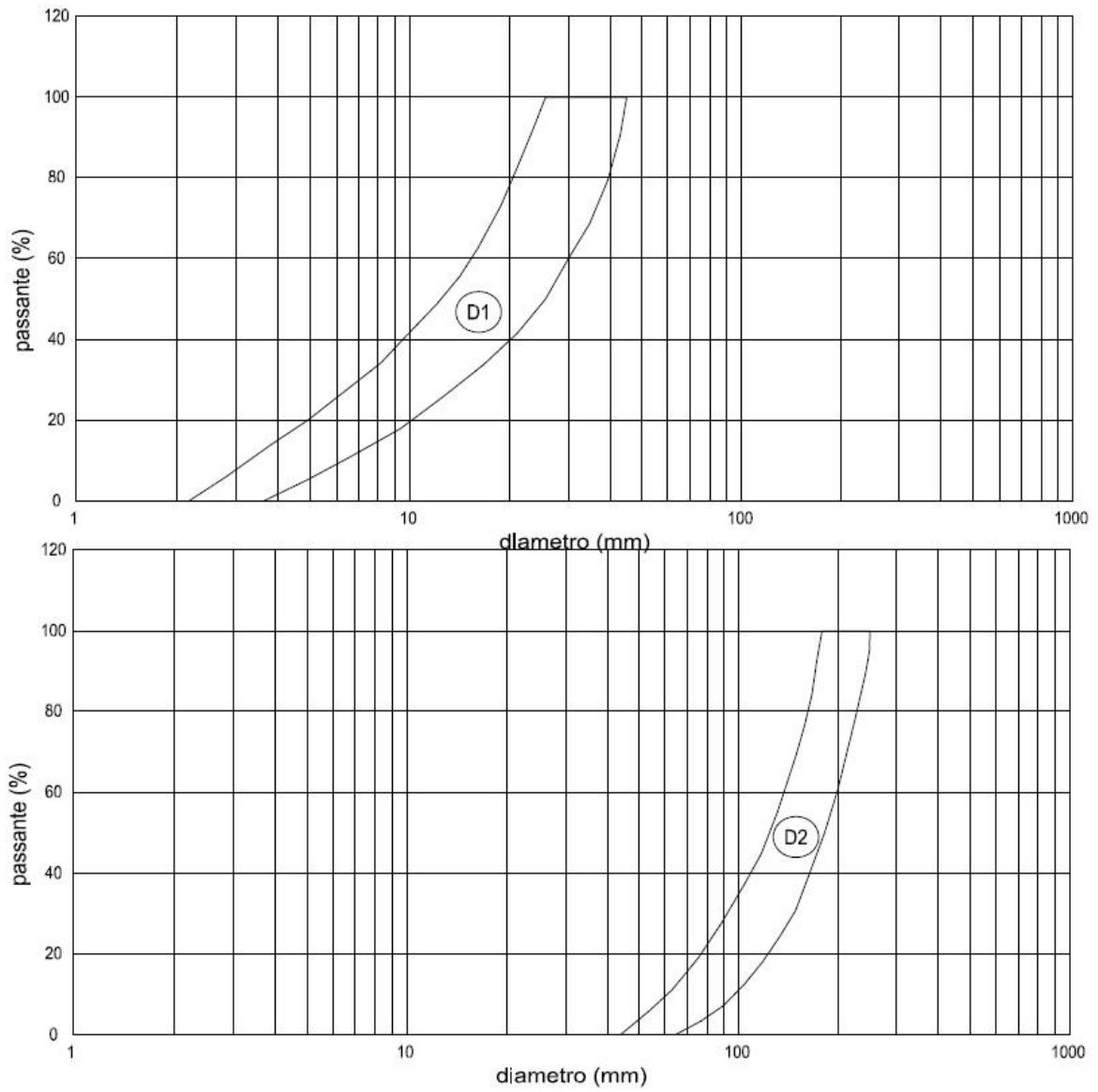
Si prevedono le seguenti raccomandazioni a caratteri generale:

- le operazioni di messa a dimora del materiale saranno precedute dalle operazioni di preparazione del fondo del piano di posa asportando il materiale della coltre vegetale e regolarizzando il fondo;
- le operazioni di abbancamento sono realizzate partendo dalle quote inferiori del versante procedendo poi verso quote superiori;
- i materiali sono posti a dimora, in funzione della loro granulometria, a valle della frantumazione; nell'ambito dei materiali destinati alla realizzazione del sito di deposito; il materiale è steso in strati successivi dello spessore non superiore a 30cm in accordo ai requisiti delle N.T.A. (vedi **Figura 13** e **Figura 15**);
- per ridurre al minimo l'emissione in atmosfera di polveri da parte del materiale abbancato in cumuli e la lisciviazione da parte delle acque meteoriche, tutti i cumuli e gli stoccaggi temporanei, dovranno essere coperti con teli in LDPE nel caso in cui le circostanze ambientali, quali eccessive piogge o vento, lo richiedessero;
- le operazioni di riempimento dovranno essere precedute dalla regimazione provvisoria delle asta idraulica presente; tale regimazione, provvisoria durante la realizzazione, diverrà, a lavori ultimati lo scarico di fondo dell'area di deposito (**Figura 15** e **Figura 16**);
- durante le operazioni di abbancamento è prevista la realizzazione di un sistema di trincee drenanti e di un materasso drenante; le trincee sono realizzate durante le differenti fasi secondo gli schemi indicati nelle tavole allegate al progetto, che, comunque, potrà essere variato in funzione delle esigenze di cantierizzazione (**Figura 16**);
- nella **Figura 14** sono riportati i fusi granulometrici del materiale drenante utilizzato e nella le caratteristiche dei materiali;
- il nucleo di valle del rilevato di base è costituito da materiale drenante con granulometria assortita, steso, per strati successivi, con spessori non superiori a 50cm e avvolto da teli di tessuto non tessuto di opportuna grammatura; la compattazione sarà effettuata a partire da uno strato di materiale granulare dello spessore di 30cm steso al di sopra del telo tessuto non tessuto e il grado di densità da raggiungere dovrà essere determinato da prove preliminari secondo modalità indicate nelle N.T.A. (vedi schema **Figura 17**);

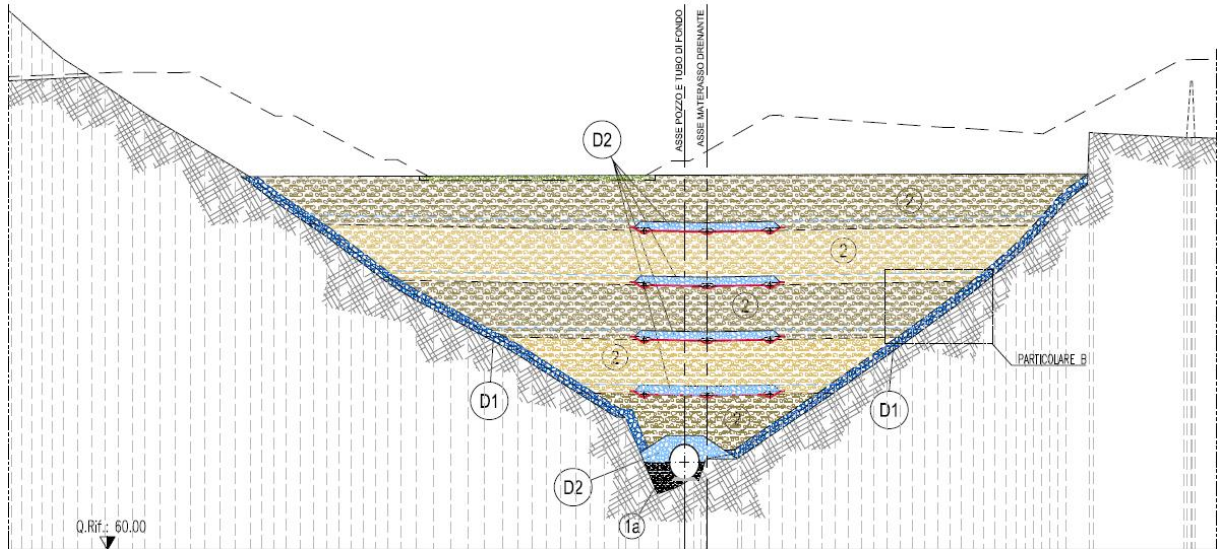


	1	Materiali appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5 e A3, stesi in strati dello spessore non superiore a 50cm e posti in opera in accordo ai requisiti delle NTA
	1a	Materiali appartenenti ai gruppi A1, A2-4, A2-5 e A3, stesi in strati dello spessore non superiore a 30cm e posti in opera in accordo ai requisiti delle NTA
	2	Materiali provenienti dagli scavi delle lavorazioni all'aperto e in sotterraneo stesi in strati dello spessore non superiore a 30cm e posti in opera in accordo ai requisiti delle NTA
	D1	Misto di fiume o frantumato da cava con funzione drenante, con granulometria assortita da 2mm a 50mm, steso in strati dello spessore non superiore a 30cm e posto in opera in accordo ai requisiti dell'appendice alle NTA
	D2	Misto di fiume o frantumato da cava con funzione drenante, pulito ed esente da materiali organici e coesivi, con granulometria assortita da mm 50 a mm 300, steso in strati dello spessore non superiore a 60cm e posti in opera in accordo ai requisiti dell'appendice alle NTA.
		Terreno vegetale di ricoprimento sp. 30/50cm

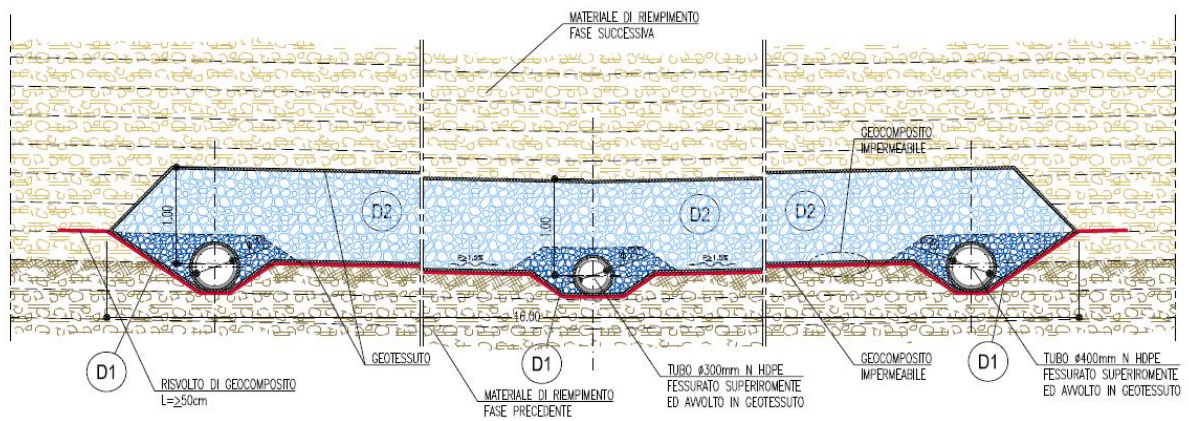
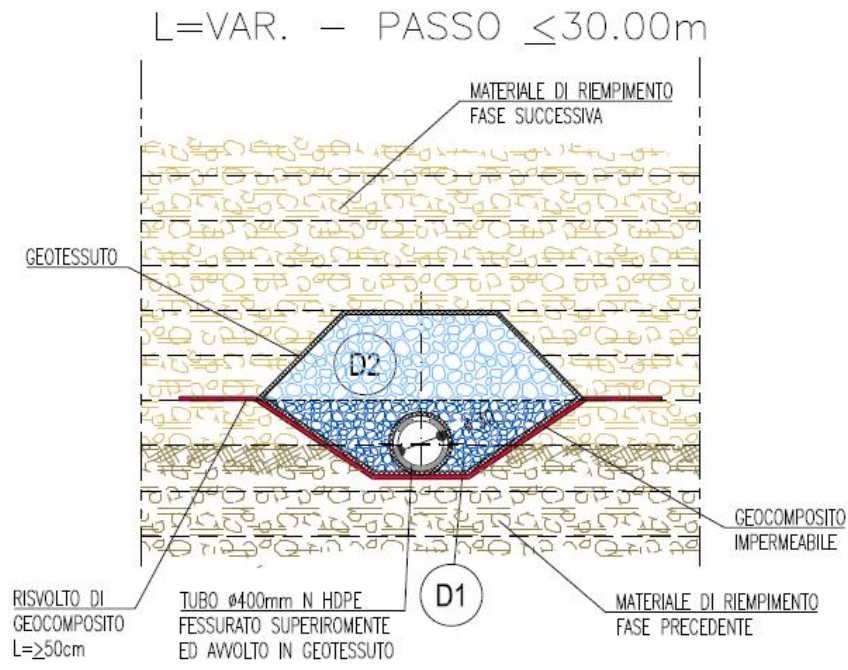
**Figura 13 – Caratteristiche e tipologie dei materiali di riempimento**



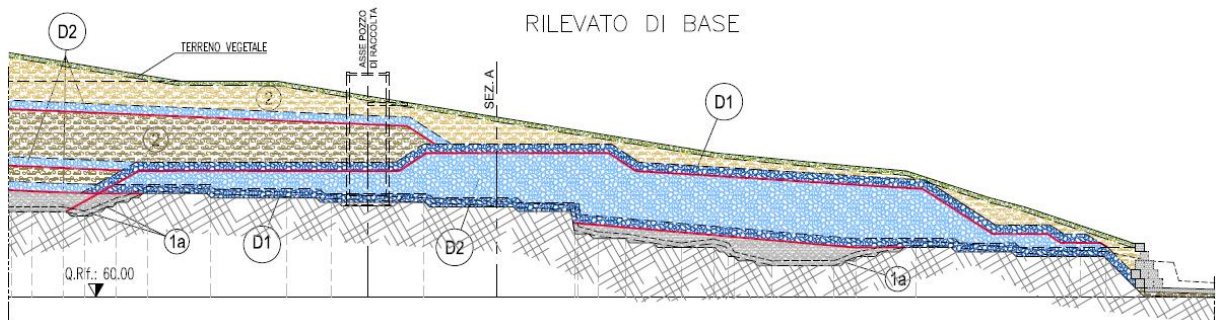
**Figura 14 – Fuso granulometrico di materiale drenante**



**Figura 15 – Sezione tipo**



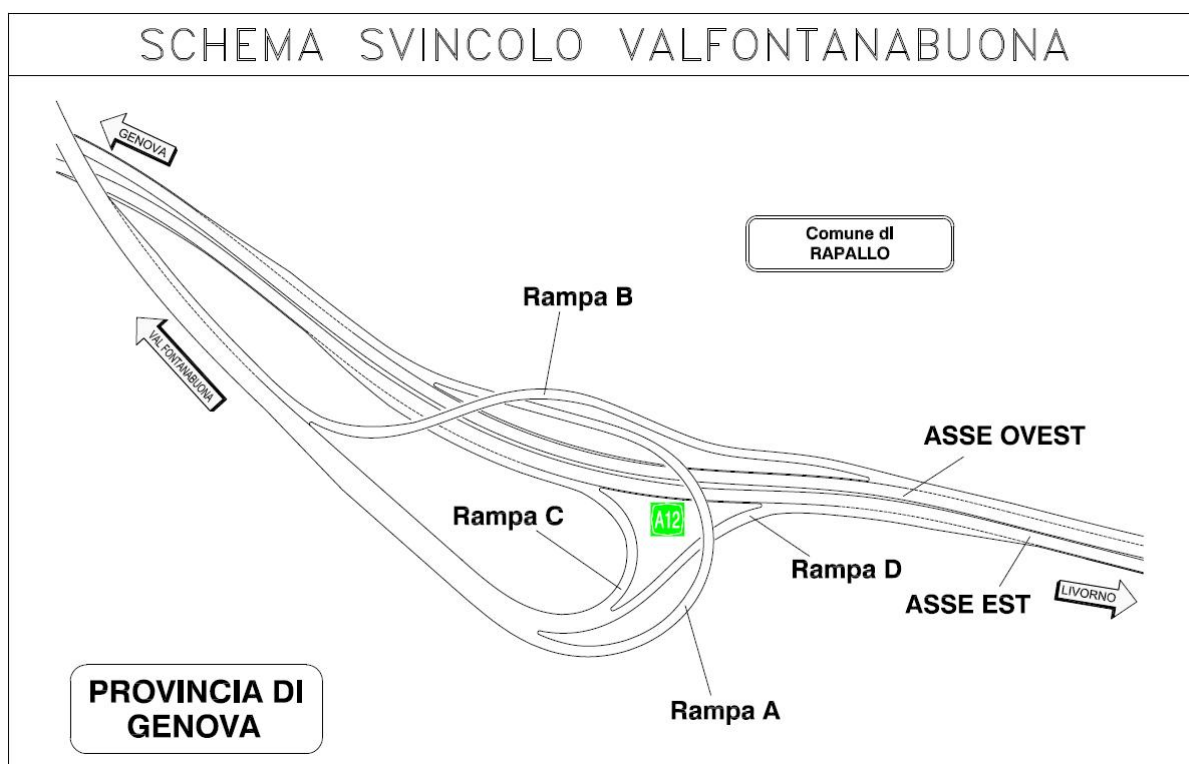
**Figura 16 – Particolare trincea e materasso drenante**



**Figura 17 – Particolare nucleo di valle del riempimento**

## 10.FASI ESECUTIVE

Si riportano di seguito le principali fasi esecutive delle lavorazioni necessarie alla realizzazione del rimodellamento morfologico. Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici allegati al progetto. Nella è riportato lo schema delle rampe di svincolo utile alla comprensione delle fasi.



**Figura 18 – Schema rampe di svincolo su A12**

FASE 1:

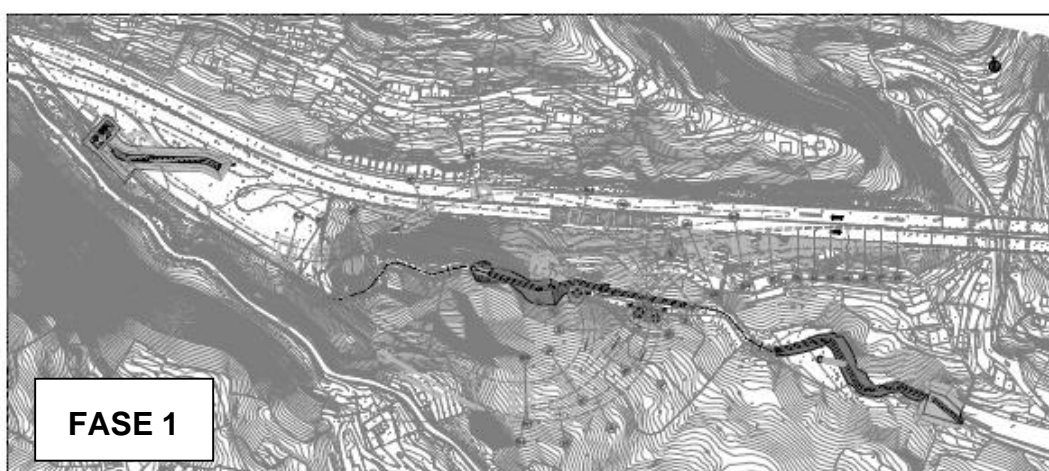
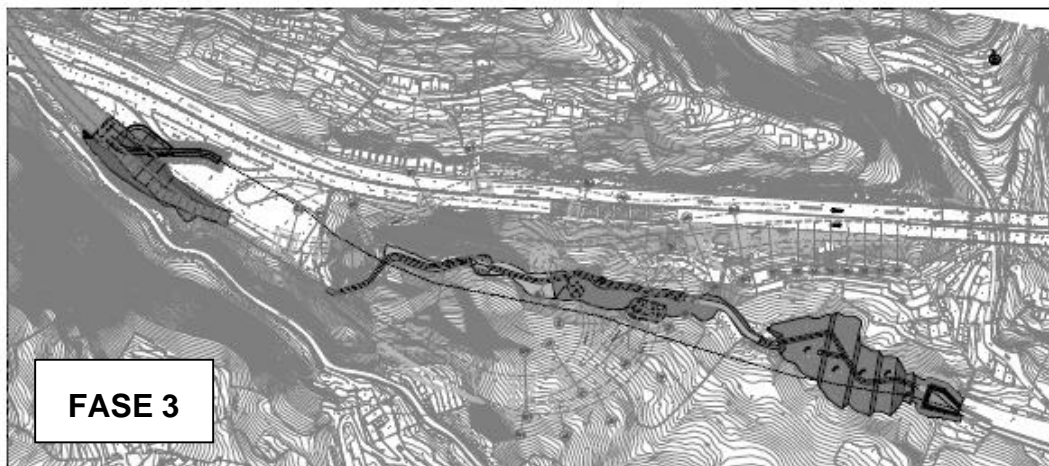
- Esecuzione della spalla A del viadotto di scavalco A12.
- Esecuzione del manufatto idraulico di fondo in corrispondenza delle pile C1 (rampa C), D3 (rampa D) e A4 (rampa A) e del torrino idraulico di scarico ed ispezione.
- Deviazione del manufatto idraulico esistente in corrispondenza della spalla A del viadotto di scavalco A12
- Deviazione dell'alveo di fondo attuale mediante tubazione tipo "ARMO".
- Realizzazione dell'argine dell'unghia di valle del riempimento.
- Esecuzione degli scavi della fondazione della pila C1 (rampa C) a quota 58,49m s.l.m.
- Esecuzione degli scavi delle fondazioni della pila D3 (rampa D) e pila A4 (rampa A) alle quote rispettivamente di 55,39m s.l.m. e 54,68m s.l.m.
- Esecuzione degli scavi per la realizzazione della vasca idraulica di restituzione e posa della tubazione di fondo.

FASE 2:

- Esecuzione della vasca idraulica a valle dell'unghia di base del ricoprimento.
- Completamento della posa della tubazione di fondo.
- Riempimento dell'area sino a quota 54÷56m s.l.m. per strati successivi.
- Realizzazione delle pile P1 e P2 e della spalla A del viadotto di scavalco A12.

FASE 3:

- Riempimento dell'area sino a quota 60.00m s.l.m. per strati successivi.
- Realizzazione delle fondazioni delle pile D3 (rampa D) e della spalla SPC2 (rampa C) alle quote rispettivamente di 64,52m s.l.m. e 68,08m s.l.m.
- Realizzazione di muri di sostegno e della rampa di accesso per lo scavalco A2.
- Varo dell'impalcato del viadotto su scavalco A12.





FASE 4:

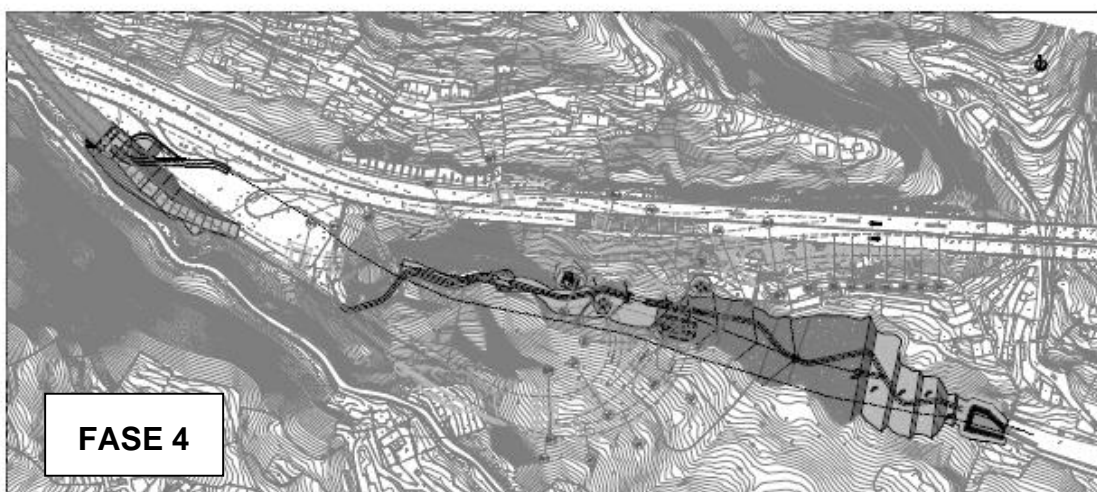
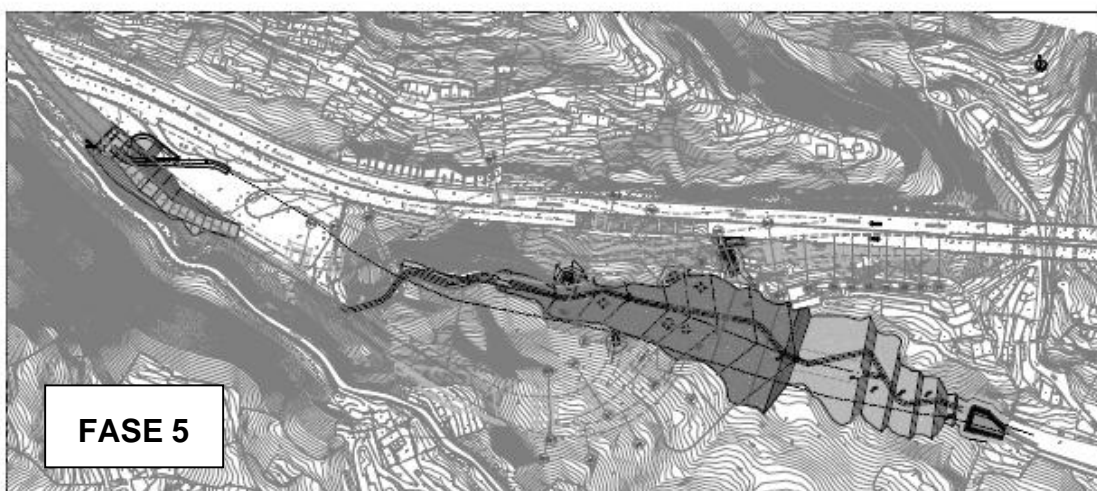
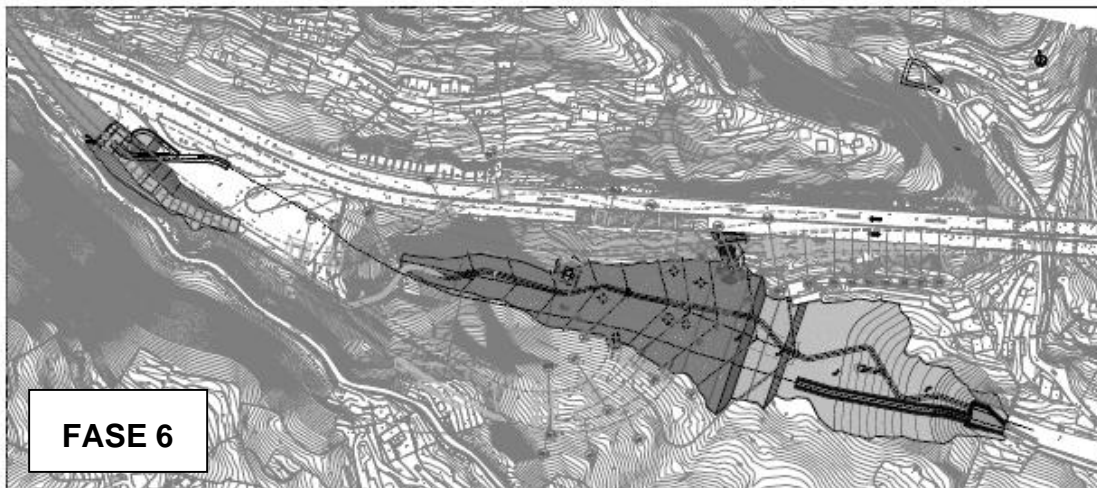
- Riempimento dell'area sino a quota 67m s.l.m. circa per strati successivi
- Realizzazione degli scavi delle fondazioni della pila A5 (rampa A) e della pila D4 (rampa D) alle quote rispettivamente di 69,44m s.l.m. e 70÷79m s.l.m.
- Esecuzione degli scavi delle fondazioni della pila C3 e spalla SPC2 (rampa C) alle quote rispettivamente di 58,49m s.l.m. e 68,04m s.l.m.

FASE 5:

- Riempimento dell'area sino a quota 69÷70m s.l.m. per strati successivi.
- Esecuzione degli scavi delle fondazioni della spalla SP1 e pila C1 (rampa C) alla quota di circa 68,04m s.l.m. per spalla e quota 70,83m s.l.m. per la pila; realizzazione degli scavi della fondazione della pila A5 (rampa A) e parte di quelli della pila D5 (rampa D) alle quote, rispettivamente, di 69,44m s.l.m. e 70m s.l.m.
- Esecuzione del manufatto idraulico di superficie in gabbioni nella parte inferiore del rimodellamento e sistemazione finale della parte interessata.

FASE 6:

- Riempimento dell'area sino a quota 70÷77m s.l.m. circa per strati successivi
- Realizzazione delle fondazioni della pila A3 (rampa A) e della pila D1 (rampa D) alle quote rispettivamente di 77,19m s.l.m. e 78,33m s.l.m. e completamento degli scavi della fondazione D5 (rampa D) tra le quote 70÷79m s.l.m.



FASE 7:

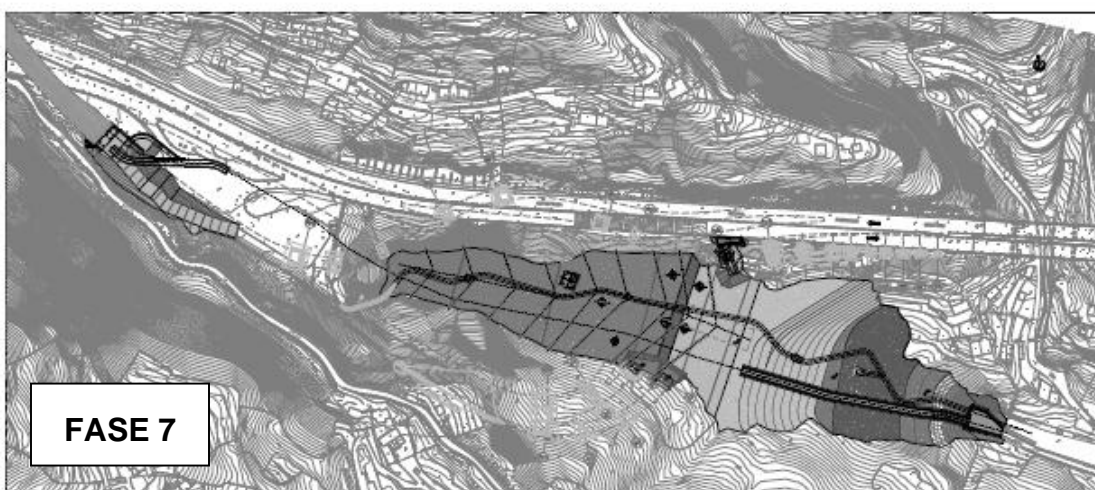
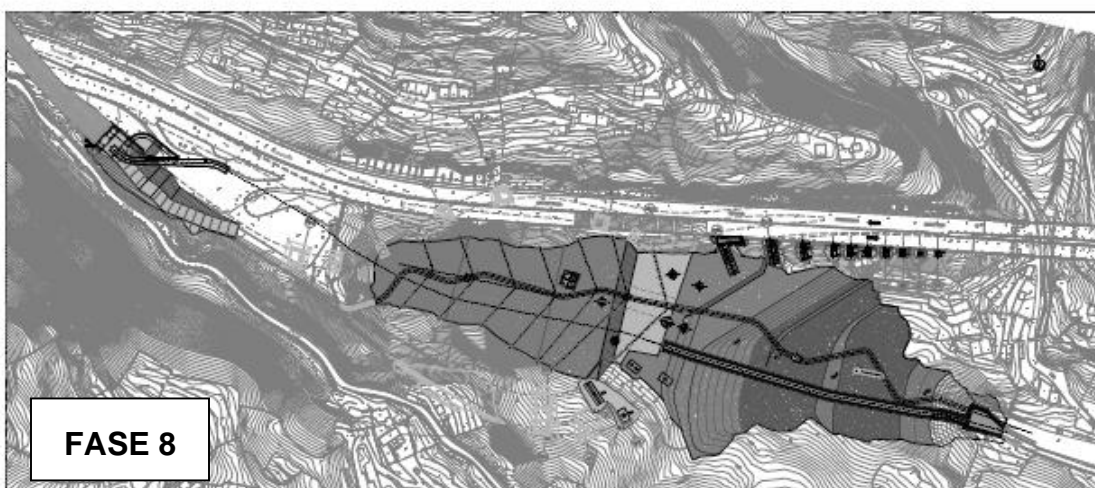
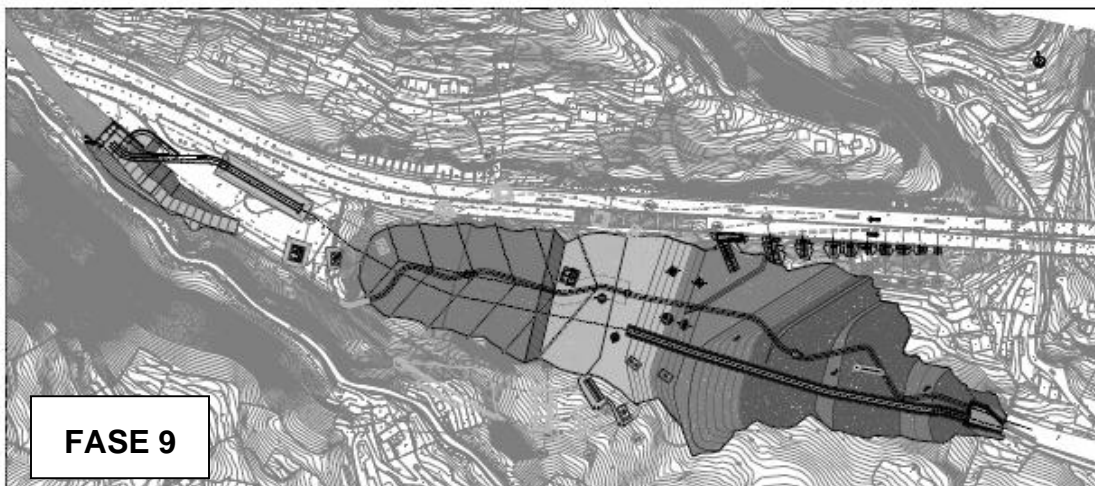
- Riempimento dell'area sino a quota 80m s.l.m. circa per strati successivi.
- Realizzazione degli scavi delle fondazioni della pila A3 (rampa A) alla quota di 77,19m s.l.m. e pila D2 (rampa D) alla quota 78,83m s.l.m.

FASE 8:

- Riempimento dell'area sino a quota 86m s.l.m. circa per strati successivi
- Realizzazione delle fondazioni della pila A2 (rampa A) e della pila C1 (rampa C) alle quote rispettivamente di 86,61m s.l.m. e 86,79m s.l.m.
- Proseguimento della realizzazione del manufatto idraulico di superficie in gabbioni e sistemazione definitiva della parte interessata.
- Realizzazione degli scavi e delle fondazioni della parte in ampliamento del viadotto Casilino.

FASE 9:

- Riempimento dell'area sino a quota 103m s.l.m. circa per strati successivi
- Realizzazione delle fondazioni della pila A1 (rampa A) alla quota di 94,67m s.l.m.
- Realizzazione delle fondazioni delle spalle SPA1 (rampa A), SPC1 (Rampa C) e SPD1 (rampa D) alle quote 93÷97m s.l.m.
- Realizzazione delle fondazioni delle pile pile B2 e B3 e della spalla B2 (rampa B) alle quote rispettivamente di 100,92m s.l.m., 105,63m s.l.m. e 106,20m s.l.m.
- Esecuzione del tratto di condotta idraulica in corrispondenza della spalla SP2 del viadotto di scavalco A12.
- Completamento del viadotto di scavalco e del rilevato di approccio



**FASE 10:**

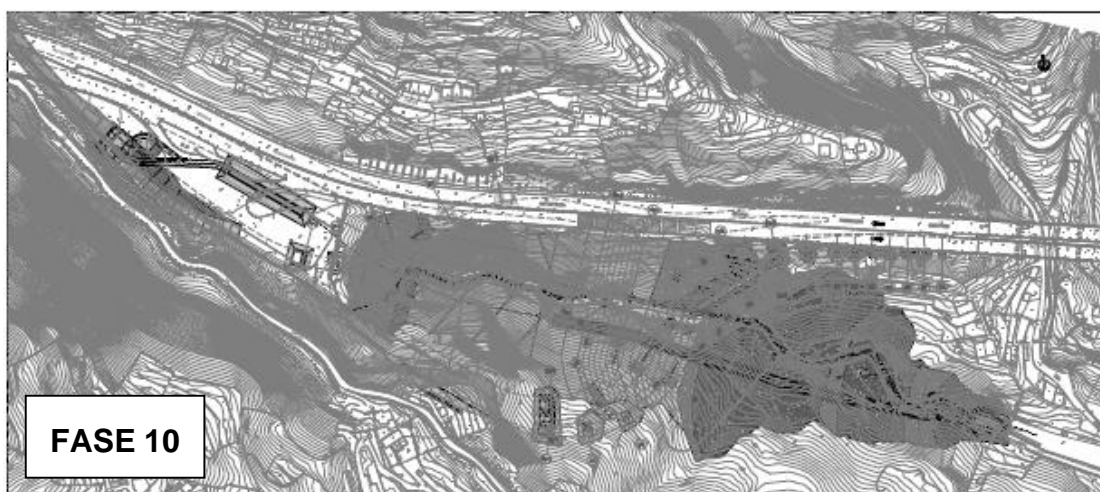
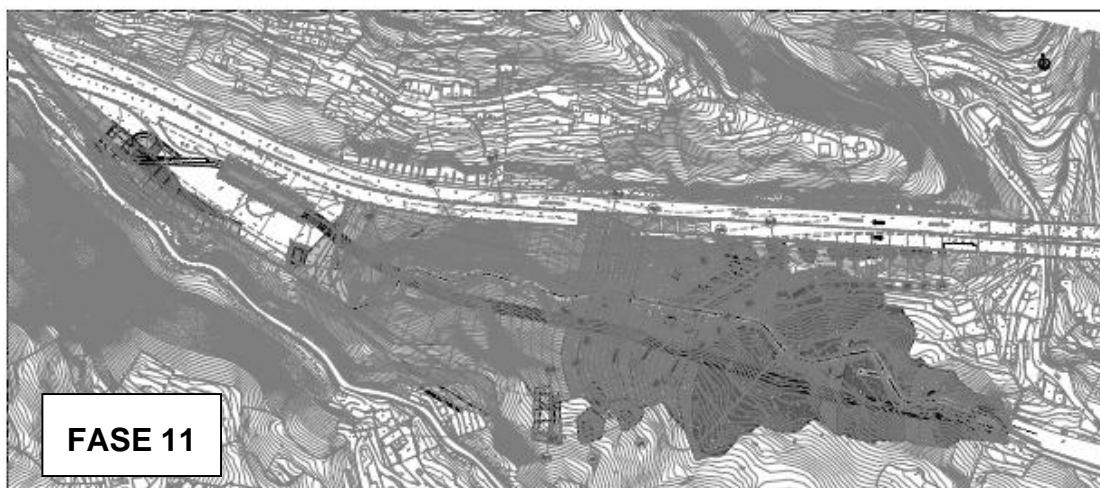
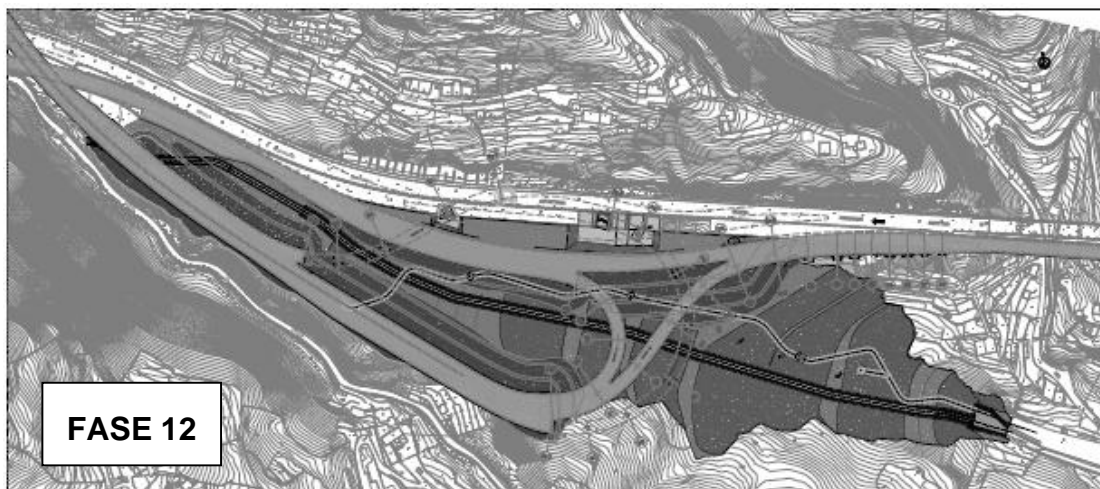
- Riempimento dell'area sino a quota 109m s.l.m. circa per strati successivi
- Esecuzione della berlinese tirantata (MC01)
- Esecuzione degli scavi della fondazione della pila A1 alla quota di 94,67m s.l.m. e spalla SPA1 alla quota di 93–97m s.l.m. (rampa A)

**FASE 11:**

- Completamento del manufatto idraulico e sistemazione definitiva della parte interessata.
- Completamento della carreggiata asse principale direzione Fontanabuona.

**FASE 12:**

- Spostamento del traffico in deviazione sul riempimento secondo lo schema indicato (rampe A, D, C e carreggiata direzione Fontanabuona)
- Realizzazione delle fondazioni della pila B1 (rampa B) alle quote di 105,39m s.l.m.
- Esecuzione delle fondazioni della pila A6 e spalla SPA2 (rampa A) alla quota rispettivamente 99,17m s.l.m. e 98,90m s.l.m.

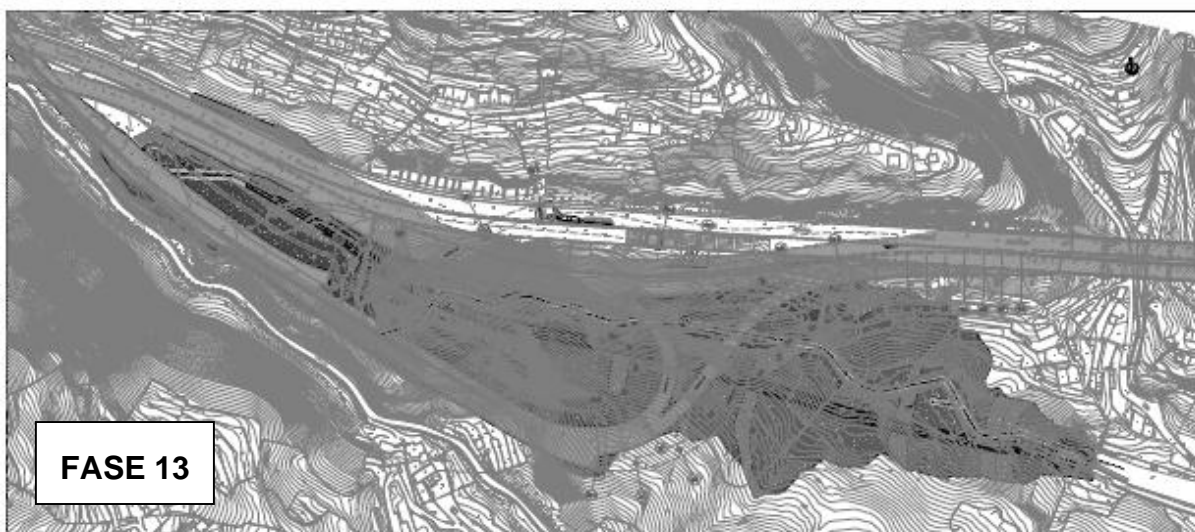
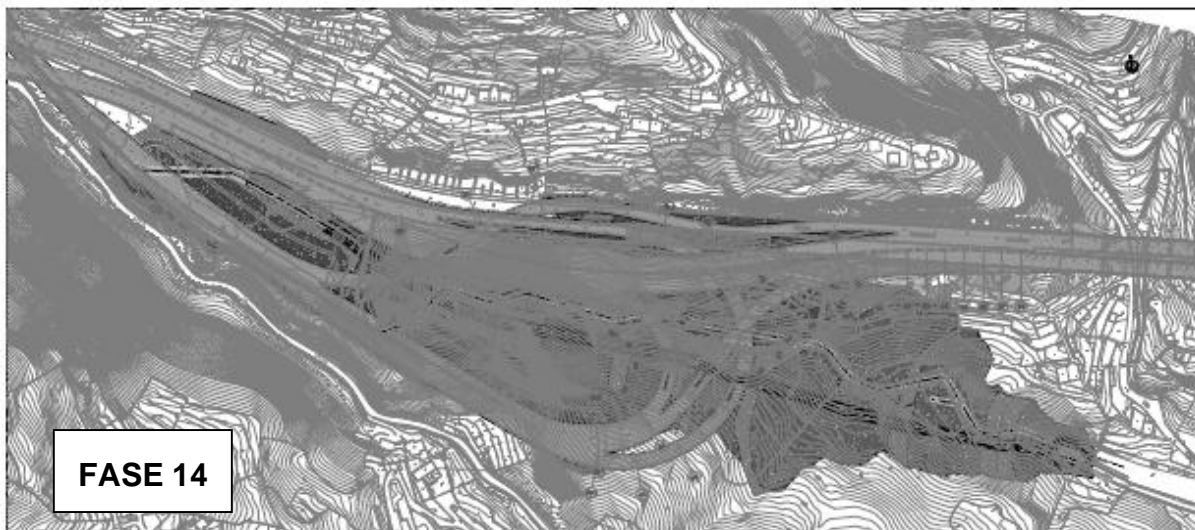


FASE 13:

- Esecuzione delle fondazioni della pila B1 e SPB1 (rampa B).
- Completamento carreggiata principale direzione Genova e rampa B.

FASE 14:

- Completamento delle rampe e ripristino traffico







## 11. MONITORAGGIO GEOTECNICO

È prevista l'installazione di 8 verticali (L=40m) attrezzate per misure estensimetriche incrementali tipo "INCREX". La cui posizione verrà decisa in sede di inizio lavori in accordo con la Direzione Lavori.