

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A.  
DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE (DOIT)

PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA

**ETS S.r.l.**

Via Benedetto Croce, 68  
00142 Roma  
email: info@etsingegneria.it

SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE OPERATIVA INFRASTRUTTURA TERRITORIALE DI GENOVA  
S.O. INGEGNERIA

## PROGETTO ESECUTIVO

Aggiornamento della Progettazione Esecutiva della galleria artificiale di Mele  
(compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino),  
comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale- Linea Genova – Ovada – Acqui Terme

## RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA

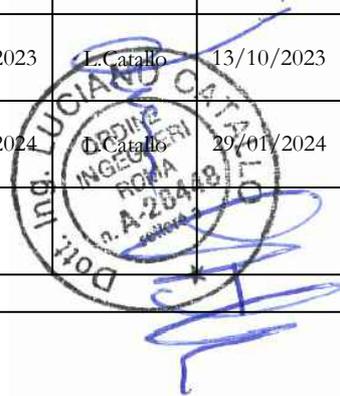
SCALA : --

FOGLIO 1 di 69

PROGETTO/ANNO    SOTTOPR.    LIVELLO    NOME DOC.    PROGR.OP.    FASE FUNZ.    NUMERAZ.

3 5 3 7 2 3    0 0 0    P E    T S P N    0 1    0 0    0 0 0 2

Rev.	Descrizione	Progettista	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
0	EMMISSIONE	R.Giordano	29/09/2023	F.Foria	29/09/2023	L.Catalo	29/09/2023	D.Lagostena	29/09/2023
1	REVISIONE	R.Giordano	13/10/2023	F.Foria	13/10/2023	L.Catalo	13/10/2023	D.Lagostena	13/10/2023
2	REVISIONE	R.Giordano	29/01/2024	F.Foria	29/01/2024	L.Catalo	29/01/2024	D.Lagostena	29/01/2024
		<i>Riccardo Giordano</i>				<i>L. Catalo</i>			



LINEA

L	4	4	1

SEDE TECNICA

L	O	0	2	8	2



INDICE

1	Introduzione .....	1
2	Normative e documentazione di riferimento.....	2
2.1	Normative.....	2
2.2	Bibliografia .....	2
2.3	Documenti di progetto di riferimento .....	2
2.4	Sitografia.....	3
3	Materiali .....	4
3.1	Galleria artificiale prefabbricata .....	4
3.2	Platea di fondazione, contrafforti e altri getti in opera .....	4
3.3	Ancoraggi.....	5
3.3.1	Barre Dywidag .....	5
3.3.2	Barre cave autopercoranti .....	5
3.3.3	Miscela cementizia per iniezioni ancoraggi .....	5
3.3.4	Acciaio per carpenterie metalliche .....	5
3.4	Paratie di micropali provvisorie.....	5
3.4.1	Micropali.....	5
3.4.2	Cordolo in cemento armato .....	6
3.5	Cunicolo drenante .....	6
3.6	Muri di sostegno prefabbricati .....	7
3.7	Rafforzamenti corticali.....	8
3.7.1	Geostuoia.....	8
3.7.2	Pannello di rete .....	8
3.7.3	Chiodi.....	8
3.7.4	Piastra di ancoraggio .....	8
3.7.5	Borchie ad alta resistenza .....	8
3.8	Consolidamenti delle strutture murarie .....	8
3.8.1	Iniezioni di miscele leganti .....	8
3.9	Microdreni .....	9
3.10	Consolidamenti dei terreni.....	9
4	Inquadramento dell'area di studio .....	10
4.1	Inquadramento geografico.....	10
4.2	Inquadramento geologico .....	10

4.3	Assetto geomorfologico .....	15
4.4	Dinamica di versante .....	15
4.5	Quadro del dissesto idrogeologico .....	20
5	Descrizione dello stato di fatto .....	22
5.1	Interventi di consolidamento del muro in muratura lato Ovada .....	22
5.2	Interventi di consolidamento del muro in muratura lato Genova .....	24
5.3	Interventi di consolidamento del muro crollato .....	25
6	Screening dei vincoli .....	32
6.1	ANALISI STORICO-ARCHITETTONICO-MONUMENTALE .....	32
6.2	ANALISI ARCHEOLOGICA .....	32
6.3	ANALISI PAESAGGISTICA .....	32
6.4	ANALISI URBANISTICA .....	33
6.5	ANALISI IDROGEOLOGICA .....	33
6.6	ANALISI AMBIENTALE .....	34
7	Soluzione progettuale e interventi di progetto .....	35
7.1	Galleria artificiale prefabbricata e galleria con struttura a sbalzo provvisoria .....	35
7.2	Scatolare drenante e paramento drenante .....	41
7.3	Prolungamento del pozzo drenante .....	42
7.4	Opere di consolidamento sul tratto di muro crollato .....	42
7.5	Opere di consolidamento sui tratti di muro rimasti in posto .....	44
7.6	Opere di finitura superficiali sulle strutture a vista .....	46
7.7	Rampa di accesso .....	48
7.8	Sistemazione definitiva del versante con ricoprimento di terreno e rafforzamenti corticali .....	49
7.9	Nuovo tracciato ferroviario di progetto .....	51
8	Bonifiche ordigni bellici .....	52
8.1	Taglio della vegetazione .....	52
8.2	Bonifica superficiale .....	53
8.3	Bonifica profonda .....	54
8.4	Aree di intervento .....	55
9	Demolizioni .....	56
10	Monitoraggi .....	57
10.1	Sintesi monitoraggi pregressi .....	57

10.2	Sistema di monitoraggio struttura di contenimento .....	59
10.3	Nuova strumentazione di monitoraggio di progetto.....	60
11	Fasi Realizzative.....	61

## 1 Introduzione

La seguente relazione rientra nell'ambito della Progettazione Esecutiva con oggetto "Aggiornamento della Progettazione esecutiva della galleria artificiale di Mele (compreso il relativo tracciato ferroviario, dal PL fino all'imbocco della galleria del Turchino), comprensiva degli interventi propedeutici alla realizzazione della galleria artificiale, nonché PFTE di una nuova viabilità sostitutiva del PL della stazione di Mele - Linea Genova – Ovada – Acqui Terme".

Nello specifico tale relazione è inerente al progetto di realizzazione della Galleria artificiale, delle relative opere strutturali ed idrauliche, delle opere di consolidamento delle opere di contenimento preesistenti e delle opere inerenti alla sistemazione definitiva del versante, in località Mele (Genova).

L'area di intervento è ubicata nel Comune di Mele, provincia della città metropolitana di Genova in Liguria. Nel punto mediano del sito, le coordinate geografiche (sistema di riferimento WGS 84) sono le seguenti: *Latitudine* 44°28'25.00"N e 8°43'59.93"E. Di seguito uno stralcio della cartografia Google Earth con indicata la zona oggetto di studio.

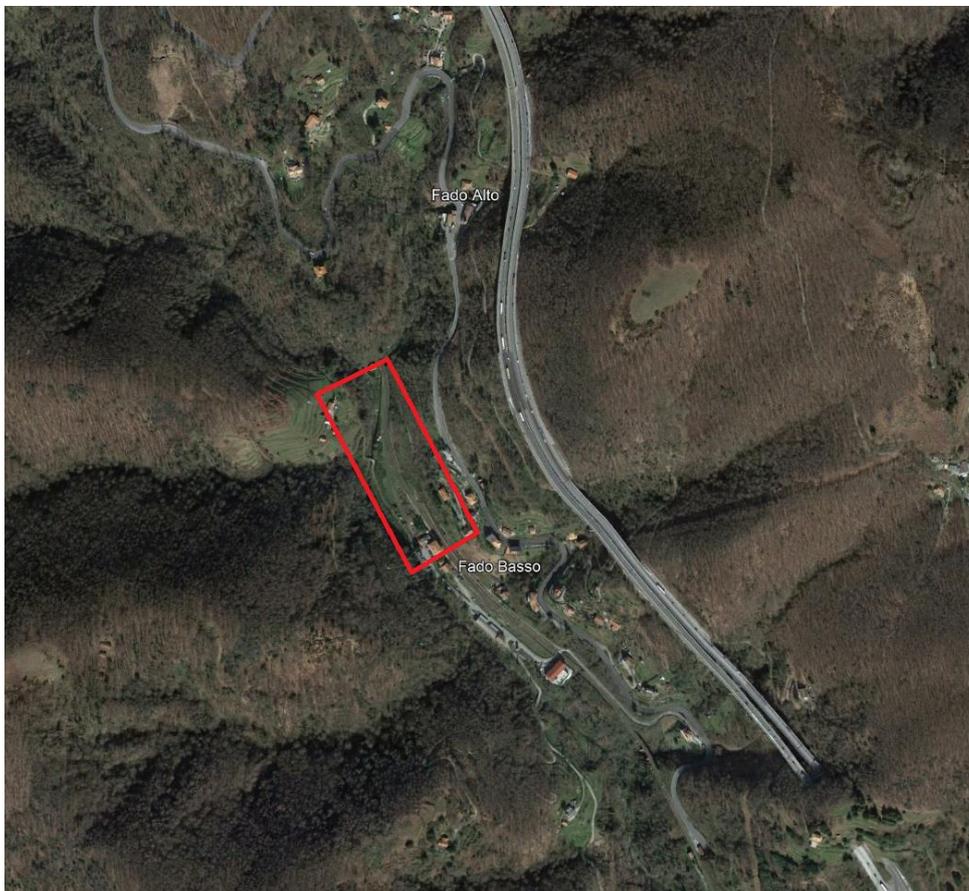


Figura 1 – Ubicazione del sito di intervento.

Nel presente elaborato è contenuta la descrizione dello stato attuale del sito e degli interventi in progetto.

## 2 Normative e documentazione di riferimento

### 2.1 Normative

- Decreto Ministeriale dei Lavori Pubblici n. 47 del 11 marzo 1988 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- UNI ENV 1997-1 Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica" Parte 1;
- UNI 10006-2002 Costruzione e manutenzione delle strade – Tecniche di impiego delle terre;
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" pubblicate sulla G.U. n. 8 del 20/02/2018;
- Circolare esplicativa CSLLPP del 21/01/2019: "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni'" di cui al D.M. 17/01/18.

### 2.2 Bibliografia

- ALLASINAZ A., GELATI R., GNACCOLINI M., MARTINIS B., OROMBELLI G., PASQUARÈ G. & ROSSI P. M. (1971) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio n. 82 "Genova" – Roma, Nuova Tecnica Grafica
- AA. VV. (1971) – Foglio n. 82 "Genova" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Servizio Geologico d'Italia
- AA.VV., coord. Vanossi M. (1994) – Guide geologiche regionali. Alpi Liguri. – Società Geologica Italiana 293 pp
- CAPPONI G., GOSSO G., SCAMBELLURI M., SILETTO G. B., TALLONE S. (1994) - Carta geologico-strutturale del settore centro-meridionale del Gruppo di Voltri (Alpi Liguri) e note illustrative. - Bollettino Società Geologica Italiana, 113, 2, 383 - 394
- CASALE L., GIUFFRÈ A., TRAVERSO M., LOMBARDI M. (2002) - Provincia di Genova. Ambiti regionali di bacino 12 e 13. Piani di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico. Caratteristiche idrauliche e geologiche del territorio. Valutazione del rischio idraulico e geomorfologico
- CHIESA S., CORTESOGNO L., FORCELLA F., GALLI M., MESSIGA B., PASQUARÈ G. & PEDEMONTE G. M. (1975) – Assetto strutturale e interpretazione del Gruppo di Voltri. – Boll. Soc. Geol. It., 94, 555-581
- PROVINCIA DI GENOVA (2013) – Piano di Bacino. Ambiti 12 e 13. Piani stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico di cui all'art. 1 del D.L. 11/06/1998 n. 180 convertito in Legge 03/08/1998 n. 267 e s.m.i..
- REGIONE LIGURIA & AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE (2023) - Piani di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico (ai sensi dell'art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998). Ambiti regionali di bacino 12 e 13
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) – Carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio n. 82 Genova. II Edizione, Roma
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (2007) – Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 213 Genova. Progetto CARG, Firenze

### 2.3 Documenti di progetto di riferimento

- Progetto esecutivo 2003 "Lavori urgenti, atti a mettere in sicurezza zone del muro di controripa al km 22+530 della linea Genova-Ovada in Stazione di Mele, danneggiato da cause di forza maggiore nonché interventi vari di distemazione del versante sovrastante il muro resto" – Rete Ferroviaria Italiana

## 2.4 Sitografia

- <http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/ambiti12e13/ambiti12e13.html>
- <http://srvcarto.regione.liguria.it/geoviewer2/pages/apps/geoportale/index.html>
- [https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/213\\_GENOVA/Foglio.html](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/213_GENOVA/Foglio.html)
- <http://www.pcn.minambiente.it>

## 3 Materiali

### 3.1 Galleria artificiale prefabbricata

#### Calcestruzzo elementi prefabbricati

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 52.5 R
Classe di resistenza C35/45	
Rapporto A/C	0.45
Dimensione max inerti	22 mm
Classe di consistenza	S3-S4

#### *Copriferri*

Intradosso struttura	c=40 mm
----------------------	---------

#### Getti in opera

##### SIGILLATURE

per classi di esposizione ambientali ORDINARIE e Vita nominale  $V_n=75$  anni

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 52.5 R
Classe di resistenza C28/35	
Rapporto A/C	0.45
Dimensione max inerti	15 mm
Classe di consistenza	S3-S4

#### *Copriferri:*

Giunti (con aggiunta additivo antiritiro)

c=40 mm

##### SOLETTA SUPERIORE

per classi di esposizione ambientali ORDINARIE e Vita nominale  $V_n=75$  anni

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 52.5 R
Classe di resistenza C28/35	
Rapporto A/C	0.45
Dimensione max inerti	25 mm
Classe di consistenza	S3-S4

#### *Copriferri:*

Estradosso soletta superiore

c=40 mm

#### Acciaio

B450C controllato in stabilimento

Polistirolo per riempimento obliquo

Densità: a bassa densità 10 kg/m<sup>3</sup>

### 3.2 Platea di fondazione, contrafforti e altri getti in opera

#### Calcestruzzo strutturale platea C30/37

Resistenza caratteristica a compressione cubica	30 MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	37 MPa

Copriferro netto	5 cm
Classe di esposizione	XC2

#### **Calcestruzzo strutturale getti ino pera C30/37**

Resistenza caratteristica a compressione cubica	28 MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	35 MPa
Copriferro netto	5 cm
Classe di esposizione	XC2

#### **Acciaio per cemento armato B450C**

Tensione caratteristica di snervamento	450 MPa
Tensione caratteristica di rottura	540 MPa

### **3.3 Ancoraggi**

#### **3.3.1 Barre Dywidag**

##### **Acciaio per tiranti in barre Dywidag**

Barre di diametro minimo 40 mm	
Tensione di snerv./rottura	950/1050 MPa
Carico di snervamento	1190 kN
Carico ultimo	1320 kN

#### **3.3.2 Barre cave autoperforanti**

Diametro nominale	76 mm
Diametro interno medio	56 mm
Forza di snervamento minima	1240 kN
Forza di rottura minima	1500

#### **3.3.3 Miscela cementizia per iniezioni ancoraggi**

Secondo N.T.A. – soggetto ad approvazione della D.L.	
Classe di resistenza minima	C25/30
Classe di esposizione	XC2
Eventuali additive secondo N.T.A.	

#### **3.3.4 Acciaio per carpenterie metalliche**

Tensione caratteristica di snervamento	355 MPa
Tensione caratteristica di rottura	510 MPa

### **3.4 Paratie di micropali provvisorie**

#### **3.4.1 Micropali**

Diametro perforazione	250 mm
Classe di resistenza miscela cementizia	C25/30

---

Classe di esposizione	XC2
Copriferro netto	≈ 40 mm
Tipo di cemento	CEM III÷V
Tecnologia di iniezione	IGU
Eventuali additivi secondo NTA	

#### **Acciaio per micropali S355**

Profili tubolari in acciaio $\phi$ 168.3/10	
Tensione caratteristica di snervamento	355 MPa
Tensione caratteristica di rottura	510 MPa

### **3.4.2 Cordolo in cemento armato**

#### **Caratteristiche calcestruzzo**

Secondo N.T.A. – soggetto ad approvazione della D.L.	
Classe di resistenza minima	C25/30
Classe di esposizione	XC2
Eventuali additive secondo N.T.A.	

#### **Acciaio per cemento armato B450C**

Tensione caratteristica di snervamento	450 MPa
Tensione caratteristica di rottura	540 MPa

### **3.5 Cunicolo drenante**

#### **Calcestruzzo elementi prefabbricati**

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 52.5 R
Classe di resistenza C35/45	
Rapporto A/C	0.45
Dimensione max inerti	22 mm
Classe di consistenza	S3

*Copriferri* c=40 mm

#### **Getti in opera**

##### **SIGILLATURE**

per classi di esposizione ambientali ORDINARIE e Vita nominale Vn=75 anni

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 52.5 R
Classe di resistenza C28/35	
Rapporto A/C	0.45
Dimensione max inerti	15 mm
Classe di consistenza (con aggiunta additivo antiritiro)	S3-S4

*Copriferri:*

Giunti c=40 mm

#### **SOLETTA SUPERIORE**

per classi di esposizione ambientali ORDINARIE e Vita nominale Vn=75 anni

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 52.5 R
---------------------------	--------------

Classe di resistenza C28/35	
Rapporto A/C	0.45
Dimensione max inerti	25 mm
Classe di consistenza	S3

*Copriferrì:*

Estradosso soletta superiore	c=40 mm con distanziali
------------------------------	-------------------------

**Acciaio**

B450C controllato in stabilimento

Polistirolo per riempimento obliquo

Densità: a bassa densità	10 kg/m <sup>3</sup>
--------------------------	----------------------

### 3.6 Muri di sostegno prefabbricati

**Calcestruzzo elementi prefabbricati**

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 52.5 R
Classe di resistenza C35/45	
Rapporto A/C	0.45
Dimensione max inerti	22 mm
Classe di consistenza	S3

*Copriferrì*

Lato facciata	c=40+5/-0 mm
Lato controterra	c=40+5/-0 mm

**Platea**

**Calcestruzzo elementi prefabbricati**

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 32.5 R o N
Classe di resistenza C25/30	
Dimensione max inerti	30 mm
Classe di consistenza	S3

*Copriferrì*

Estradosso platea	c=40+10/-0 mm
Intradosso platea	c=40+10/-0 mm

**Fondazioni debolmente armate**

**Calcestruzzo elementi prefabbricati**

Cemento Portland EN 197-1	CEM I 32.5 R o N
Classe di resistenza C25/30	
Dimensione max inerti	50 mm
Classe di consistenza	S3

**Acciaio**

B450C controllato in stabilimento

## 3.7 Rafforzamenti corticali

### 3.7.1 Geostuoia

La geostuoia è *KMAT L Green* o equivalente che consiste in geostuoia tridimensionale in monofilamenti di poliammide termosaldati tra loro nei punti di contatto, a struttura aperta su entrambi i lati. La geostuoia costituisce il rivestimento antierosione del versante in materiale più grossolano.

#### *Caratteristiche del pannello:*

Volume di vuoti	> 95%
Spessore a 2 kPa	> 17 mm
Resistenza a trazione longitudinale	> 1.8 kN/m
Resistenza a trazione trasversale	> 0.5 kN/m

### 3.7.2 Pannello di rete

Il pannello di rete ad alta resistenza è costituito da rete metallica zincata con fune di bordo  $\Phi 14$  fissata alle intersezioni con la fune interna  $\Phi 8$  con manicotti di giunzione, la fune interna è fissata alle intersezioni con graffe a doppio guscio.

#### *Caratteristiche del pannello:*

Dimensioni della maglia	250x250 mm
Protezione contro la corrosione	Rivestimento di zinco (EN 10244-2)
Diametro delle funi	8/14 mm
Resistenza a trazione delle funi	$\geq 1770$ MPa
Rete a doppia torsione	8x10 cm, filo $\geq 2.7$ mm

### 3.7.3 Chiodi

I chiodi sono barre cave autoperforanti del tipo *BELBOR RB 32/20* o equivalente.

#### *Caratteristiche dei chiodi:*

Diametro di perforazione	$\geq 76$ mm
Carico snervamento	$\geq 280$ kN
Carico ultimo	$\geq 350$ kN

### 3.7.4 Piastra di ancoraggio

Dimensioni della piastra	200x200x10 mm - Grezze
Tipo di acciaio	S235

### 3.7.5 Borchie ad alta resistenza

Tipo di acciaio	S235JR
Protezione contro la corrosione	Rivestimento di zinco (EN ISO 2081)

## 3.8 Consolidamenti delle strutture murarie

### 3.8.1 Iniezioni di miscele leganti

Il consolidamento strutturale avviene mediante iniezioni di resine organo-minerale bicomponente tipo *Silicajet* o equivalente.

*Caratteristiche della resina*

Massa volumica	1.45 ± 0.05 g/cm <sup>3</sup> a +25°C (componente A)
	1.18 ± 0.05 g/cm <sup>3</sup> a +25°C (componente B)
Rapporto di miscelazione	1:1 (in volume)
Resistenza a compressione	≥ 50 MPa

### 3.9 Microdreni

I dreni previsti sono tubi microfessurati in PVC ad alta resistenza rivestiti in geosintetico del peso 500 gr/m<sup>2</sup>.

*Caratteristiche dei dreni*

Diametro minimo del tubo	1.5".
D <sub>perf</sub>	≥ 150 mm

### 3.10 Consolidamenti dei terreni

Iniezioni tramite boiaccia cementizia additivata con resina acrilica tipo Kimitech B2 o equivalente

Lunghezza delle canne variabile tra 1 e 4 m.

Tubi di iniezione con D<sub>canna</sub>≥32 mm e D<sub>perf</sub>≥60 mm

Proprietà meccaniche minime dei terreni trattati:

Coesione efficace≥50 kPa

Modulo di deformabilità≥50 MPa

Sarà in ogni caso predisposto un campo prova con la finalità di tarare la tipologia della resina, i rapporti di miscelazione ed i volumi di iniezione, le modalità operative per garantire la massima sicurezza ed i migliori risultati e infine di minimizzare i costi.

## 4 Inquadramento dell'area di studio

### 4.1 Inquadramento geografico

L'area di intervento è ubicata nel Comune di Mele, provincia della città metropolitana di Genova in Liguria. Nel punto mediano del sito, le coordinate geografiche (sistema di riferimento WGS 84) sono le seguenti: *Latitudine* 44°28'25.00"N e 8°43'59.93"E. Di seguito uno stralcio della cartografia Google Earth con indicata la zona oggetto di studio.



*Figura 2 – Ubicazione del sito di intervento.*

### 4.2 Inquadramento geologico

Per il settore oggetto di studio la cartografia storica di riferimento è rappresentata dal Foglio n. 82 “Genova” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, dalla quale si evince che il substrato roccioso pre-quadernario è rappresentato da rocce metamorfiche, di età mesozoica, riferibili al Complesso Ofiolitico del Gruppo di Voltri.

Il Gruppo di Voltri è un sistema composto di falde metamorfiche, situato in posizione interna rispetto all'arco alpino occidentale. In esso prevalgono litologie provenienti da diversi ambienti litosferici: mantello continentale, ofioliti mesozoiche e coperture sedimentarie. Le relazioni originarie tra le diverse litologie sono generalmente cancellate e trasposte a causa dell'intensa tettonica alpina.

Nell'area in esame le litologie prevalenti sono riferibili a frammenti di crosta oceanica (Unità Ofiolitiche: Unità M.te Beigua - Carta Geologica d'Italia, Foglio n° 82) ed a metasedimenti di fossa (Unità dei Calcescisti del Turchino - Carta Geologica d'Italia, Foglio n° 82).

Il Gruppo di Voltri comprende numerose unità tettoniche che, in prima approssimazione, si possono ricondurre a una originaria serie stratigrafica ascrivibile al Dominio Piemontese - Ligure che, procedendo dal basso verso l'alto, comprende: serpentinoscisti con lenti di eclogiti (meta-Fe-gabbri) e di gabbri eclogitici (Mg-gabbri), oficalciti (brecce di serpentiniti a cemento carbonatico), una successione di basalti prasinitizzati (metabasiti), quarzoscisti manganesiferi, marmi e calcescisti.

#### Calcescisti del Turchino

Sotto tale denominazione sono compresi le principali associazioni litologiche:

- Calcescisti a muscovite e paragonite; calcemicascisti a muscovite, paragonite  $\pm$  fengite e clorite; argilloscisti seritici; filladi calcarifere a clorite e sericite  $\pm$  grafite; micascisti e quarzomicascisti a clorite  $\pm$  sericite, marmi micacei; calcescisti, calcemicascisti e micascisti albitici. Il contatto tra calcescisti l.s. e rocce basiche e/o ultrabasiche è talora sottolineato da livelli a epidoto, clorite e anfiboli;
- Quarzoscisti;
- Prasiniti, prasiniti ovarditiche ed epidotiche, prasiniti ad attinoto  $\pm$  glaucofane, prasiniti a fuchsite, prasiniti granatiferi e a biotite (Membro delle prasiniti di Campo Ligure).

#### Ofoliti di Monte Beigua

Nell'area di studio sono rappresentate essenzialmente da rocce ultrabasiche e basiche:

- Serpentiniti da massive a foliate, serpentiniti anfiboliche, serpentinoscisti, talcoscisti e scisti amiantiferi, filoni rodingitici e oficalciti;
- Scisti actinolitici e scisti cloritici-actinolitici, talora a epidoto, costituenti prodotti di laminazione tettonica localizzati entro i calcescisti e soprattutto in corrispondenza ai contatti tra questi ultimi e le masse ofiolitiche;
- Mg-gabbri a tessitura da occhiadina a listata, talora con relitti eclogitici.

Inoltre, a Est di Bric Aresci, vi sono importanti masse di quarziti massicce e/o listate riferibili dal punto di vista litostratigrafico al Dominio Pre-piemontese e/o Piemontese s.s. sensu Vanossi et alii – 1984 (in Capponi et alii, 1994).

Più recentemente è stato pubblicato il Foglio n. 213 Genova della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia, 2007) nel quale sono state modificate le denominazioni delle varie Formazioni indicate nella cartografia e nella Letteratura precedente.

È infine disponibile la Carta geolitologica del Piano di bacino (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, 2023).

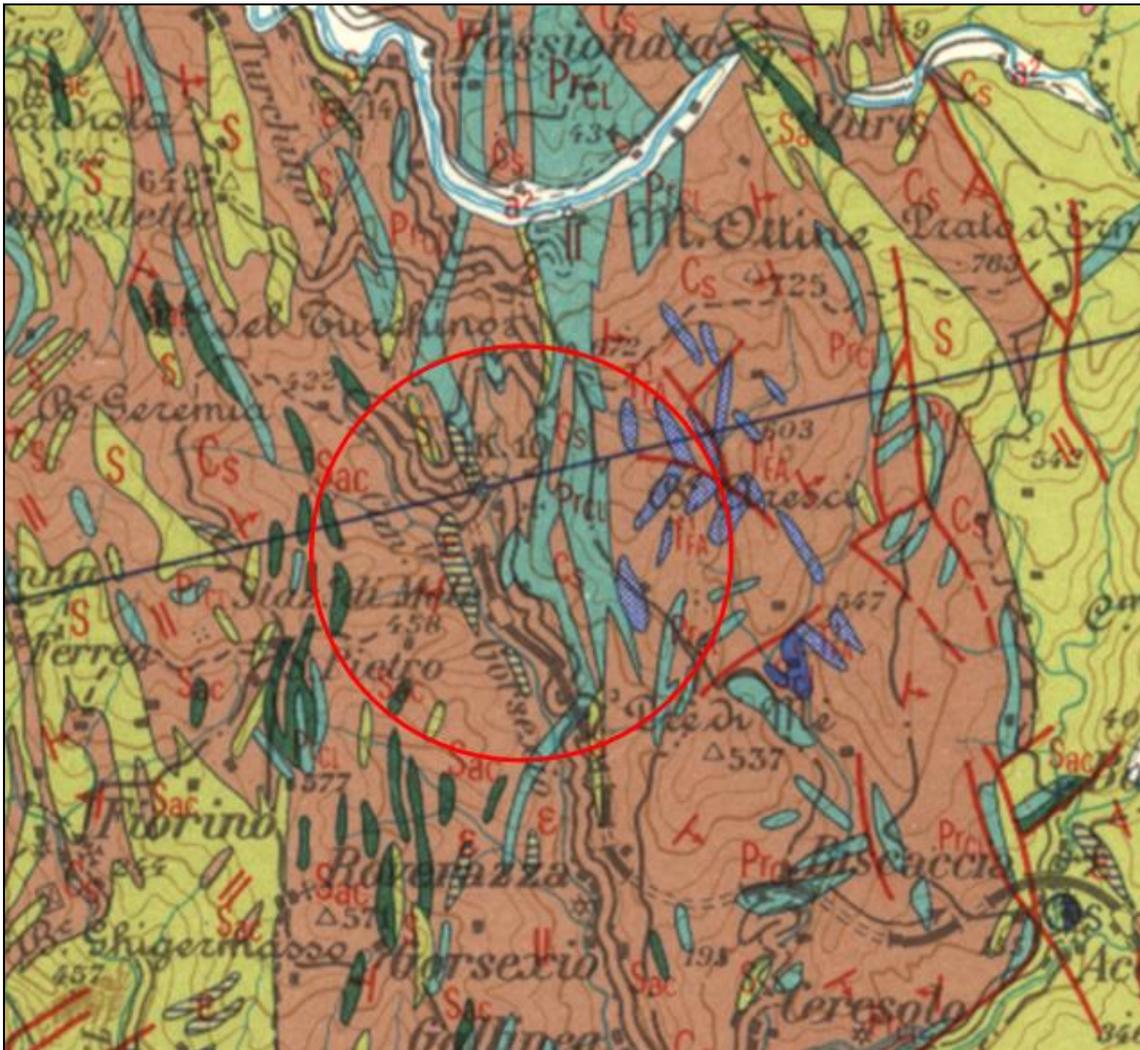


Figura 3 – Stralcio dal Foglio n. 82 “Genova” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000. Legenda: Cs) Calcescisti del Turchino; PrCL) Membro delle Prasiniti di Campo Ligure; S) Ofioliti di M. Beigua (Membro delle serpentine di Capanne Marcarolo); Sac) Scisti actinolitici e cloritico-actinolitici; ε) Metagabbri; T<sup>1</sup> FA) Quarziti di Fosso Angassino.

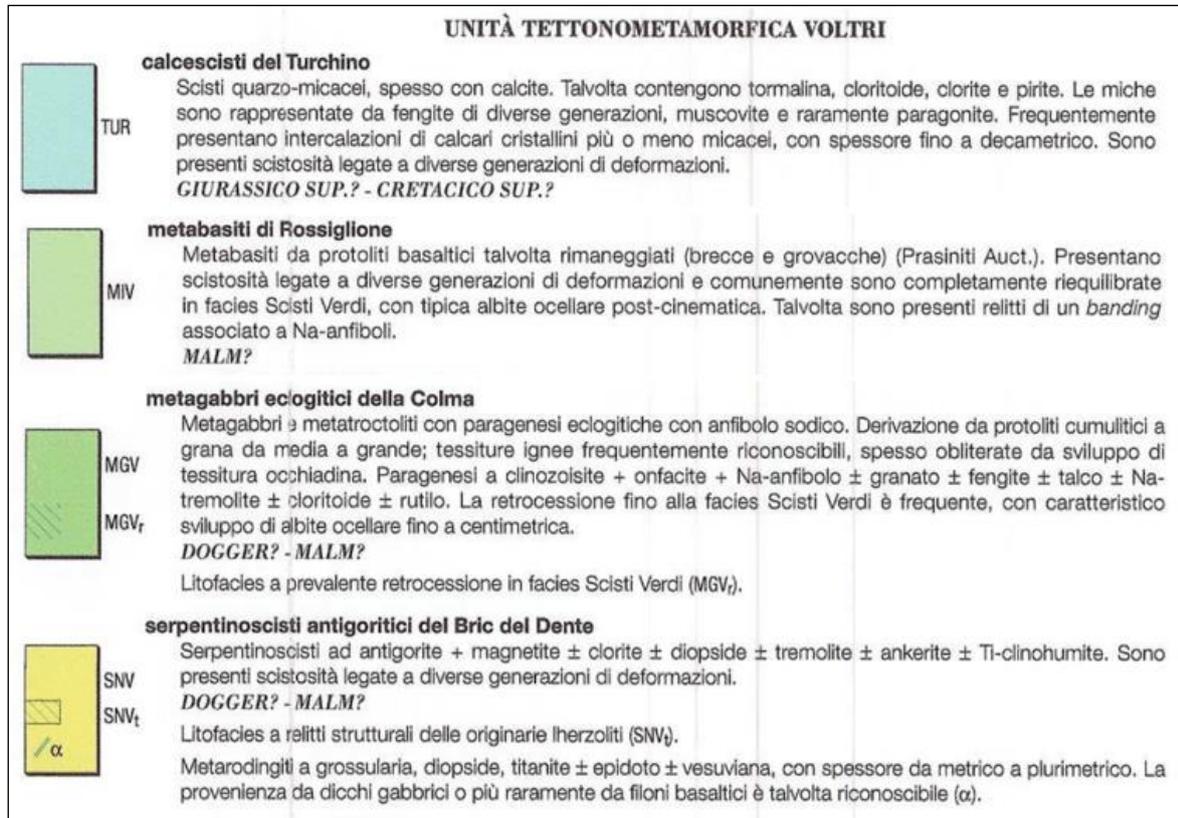
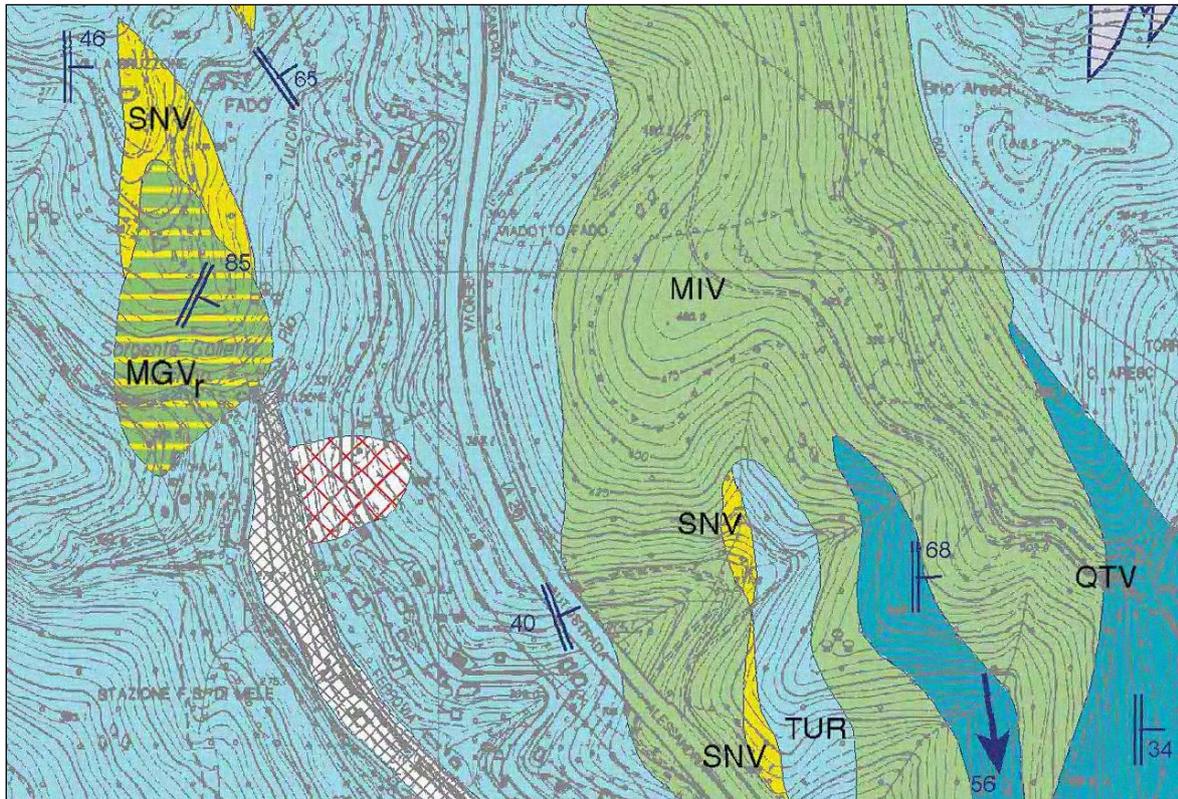


Figura 4 – Stralci dal Foglio n. 213 “Genova” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000.

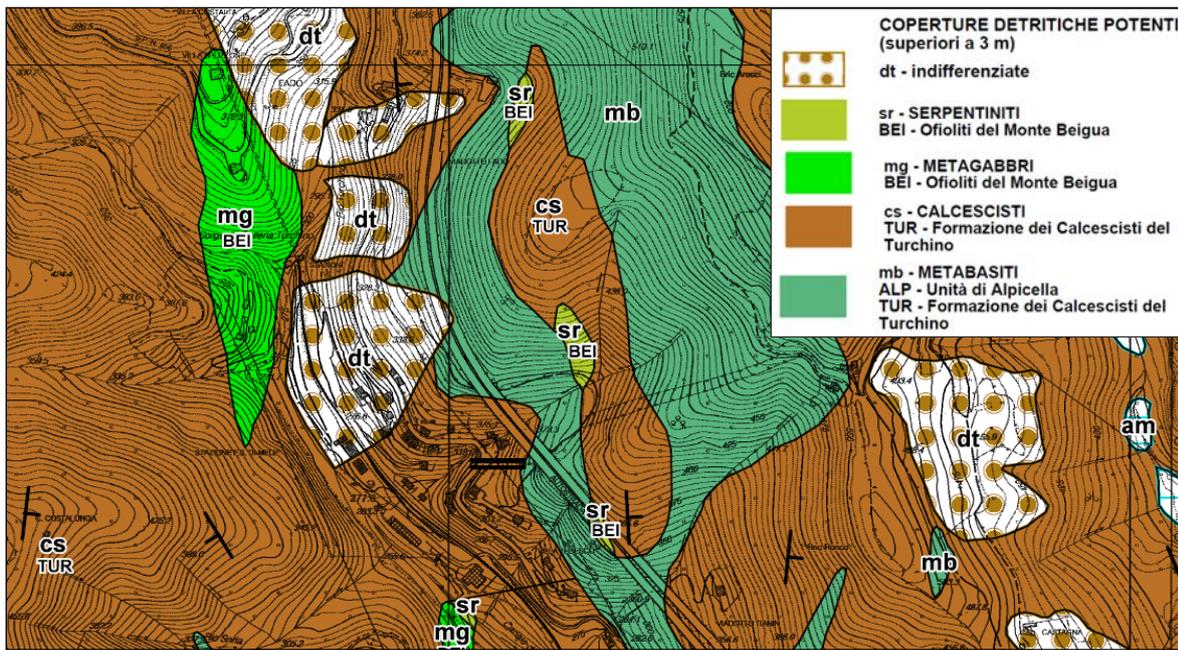


Figura 5 – Stralci dalla Tavola 213090 Carta geolitologica del Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico - Ambiti 12 e 13 (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, 2023).

STADI METAMORFICI (definiti per rocce a chimismo basico)				
	Eclogitico	Glaucofanico	Anfibolitico ad albite	Scisti Verdi
Micascisti	ph1+pg+grt+rt+Fe-Tiox	cld+ph2+ab+ttn		ms+bt+chl+ab+ttn+ox
Calcescisti	ph1+ pg+grt+zo+chl+ox	cld+ph2+ab+ttn		ms+bt+chl+ab+ttn+ox
Quarziti e Quarzoscisti	ph1+pg+Mn-ep+Mn-grt+ox±rt	cld+ph2+ab±ttn		ms+bt+chl+ab+ox±ttn
Metabasiti indifferenz.	come basalti e Fe-gabbri			
Basalti	Na-cpx+grt1+rt±Fe-Tiox±Na-anf	Na-anf±grt2±ep±ttn	bar+ab+ep+ttn±chl	act+ab+ep+chl+ttn+Fe-ox
Fe-gabbri	Na-cpx+grt1+rt±Fe-ox±Na-anf	Na-anf±grt2±ep±ttn	bar+ab+ep+ttn±chl	act+ab+ep+chl+ttn+Fe-ox
Mg-gabbri	Na-cpx+grt+zo+tc±Na-anf±pg	Na-anf	bar+ab+ep	tr+ab+ep+chl
Ultramafiti	ol+atg+di+Ti-chu±chl		atg+brc+chl±tr±ctl	

Abbreviazioni dei minerali tratte da KRETZ (1983). ab = albite; act = attinolite; anf = anfibolo; atg = antigorite; bar = barrosite; brc = brucite; bt = biotite; chl = clorite; cld = cloritoido; cpx = clinopirosseno; ctl = crisotilo; di = diopside; ep = epidoto; grt = granato; ms = muscovite; ol = olivina; ox = ossidi; pg = paragonite; ph = fengite; rt = rutilo; tc = taico; Ti-chu = titanclinohumite; ttn = titanite; tr = tremolite; zo = zoisite.

Figura 6 – Paragenesi metamorfiche nei litotipi del Gruppo di Voltri, figura tratta da Capponi et alii (1994).

### 4.3 Assetto geomorfologico

L'area oggetto del presente studio è localizzata nel bacino del T. Leiro, immediatamente a valle della confluenza del Rio Turchino nel Rio Gorsexio.

Il versante si presenta come una dorsale allungata in direzione NW-SE, interrotta localmente da selle in contropendenza, interpretabili come tracce di direttrici di un reticolato idrografico pregresso.

Un lembo di superficie pianeggiante modellato in roccia, di probabile origine fluviale, si osserva a valle di Bric Aresci a circa 490 m di altezza.

Il versante compreso tra Bric Aresci (616 m s.l.m.m.) e il fondovalle (quota media 275 m s.l.m.m., nei pressi della Stazione ferroviaria di Mele) si può suddividere in tre differenti settori:

- Il tratto superiore è caratterizzato un profilo concavo, con un'acclività media di circa 25° e tratti inclinati anche di 35°, interrotta da un ripiano compreso tra le quote 485 m e 500 m circa. Sul versante Sud-orientale di Bric Aresci, a si osserva una scarpata in contropendenza orientata N40W, avente le seguenti dimensioni: lunghezza = 30 m, larghezza = 20-25 m, profondità = 5-6 m;
- Il tratto mediano (a monte della A 26) mostra un profilo rettilineo ed un'inclinazione anch'esso di circa 25°;
- Il tratto inferiore (a valle della A 26) mostra una morfologia maggiormente complessa, caratterizzata dalla presenza di ondulazioni longitudinali e trasversali della superficie topografica nonché da un generalizzato rigonfiamento intuibile sulle basi cartografiche pubblicate precedentemente all'attivazione del fenomeno franoso. In corrispondenza al corpo di frana l'acclività può raggiungere i 35°-40°. In quest'ultimo settore si osservano fessure e scarpate aventi direzione parallela alle curve di livello, con altezza variabile compresa tra 1 m e 3-4 m, distribuite essenzialmente tra le quote 320 m e 300 m s.l.m.m..

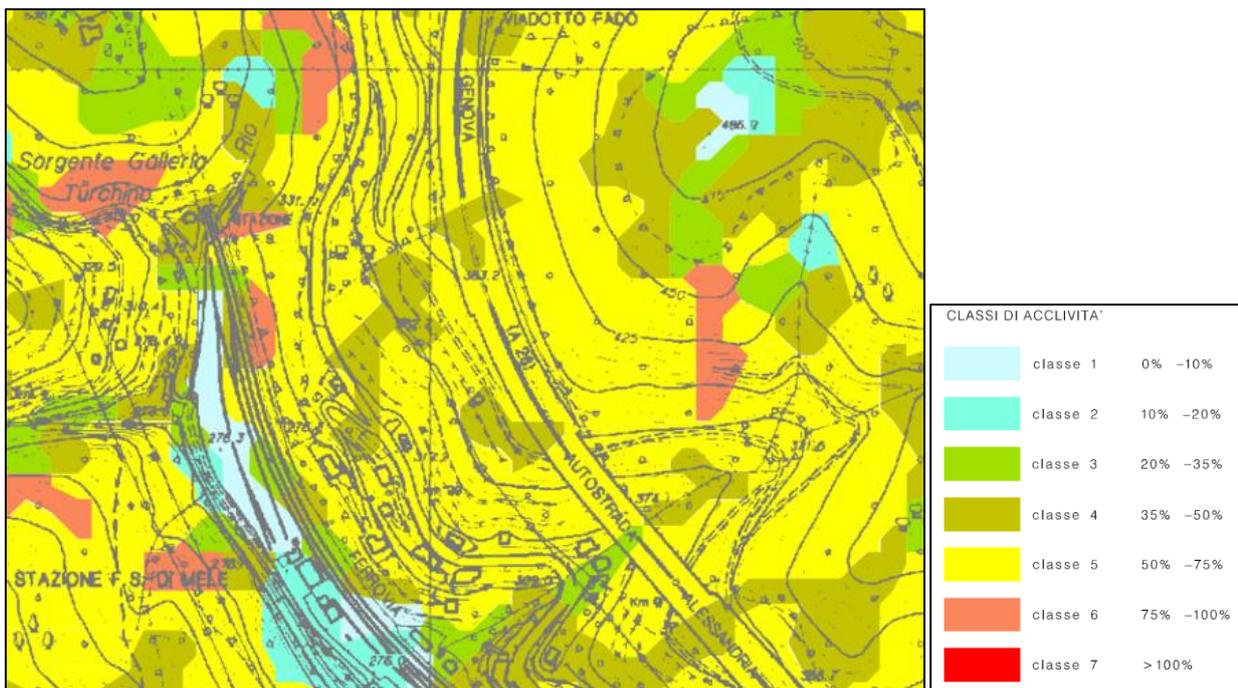


Figura 7 – Stralci dalla Carta dell'acclività (Provincia di Genova, 2013).

### 4.4 Dinamica di versante

In seguito alle eccezionali precipitazioni del mese di Novembre 2000 infatti, si attivò un esteso movimento franoso interessante il settore di versante a monte della Stazione FS nel Comune di Mele in sponda orografica sinistra del rio Turchino. Il movimento franoso si estese da poco a monte della S.S. 456 "del Turchino" alla linea ferroviaria

e compromise notevolmente sia la viabilità stradale lungo la statale suddetta sia il movimento ferroviario lungo la linea Genova – Ovada. Gli interventi di sistemazione parziale del versante sono stati oggetto di progettazione esecutiva datata 2003.

Nel primo caso sono stati eseguiti dei lavori da parte dell'ANAS per ripristinare il tracciato stradale a mezzo di un viadotto con fondazioni profonde. Nel secondo caso, invece, è stata necessaria l'interruzione di entrambi i binari di esercizio, è stato realizzato un nuovo tracciato tramite il collegamento in galleria con il vecchio binario dispari, è stata costruita una scogliera di protezione in modo da contenere la frana ed infine è stata realizzata un'opera di consolidamento del versante (in *Figura 8* presenti già la viabilità alternativa e la scogliera di protezione). L'intervento di consolidamento del versante che, ad oggi, risulta ultimato, consiste in diverse tipologie di opere e, in particolare, la consolidazione dei muri rimasti illesi dopo il movimento franoso, a mezzo di cordoli in testa con micropali e tiranti con l'utilizzo di un graticcio di travi in acciaio, ed un'opera d'arte più imponente con lo scopo di contenimento del versante lungo lo sviluppo del tratto di muro crollato.



*Figura 8 – Foto frontale della frana avvenuta nel Novembre 2000.*



Figura 9 – Foto frontale della sistemazione provvisoria del versante ad ultimazione lavori.

L'analisi morfologica e l'interpretazione fotogrammetrica dell'area in esame hanno permesso di individuare in modo evidente un diffuso stato di dissesto lungo l'intero versante, a partire dalla linea ferroviaria sino ad oltre il sovrastante tracciato autostradale. In tale contesto il fenomeno innescatosi nel Novembre 2000 rappresenta una locale riattivazione di una porzione di un più vasto dissesto, del quale sono individuabili i limiti morfologici e le opere di consolidamento realizzate.

Entro l'accumulo dalla frana antica, la tendenza a locali riattivazioni è confermata dal dissesto manifestatosi nel 1986 nel settore di versante a Nord dell'attuale movimento, già interessato da interventi di consolidamento e bonifica e compreso tra la strada statale e l'autostrada.

È inoltre da rilevare la presenza di un settore a minore acclività in corrispondenza dell'imposta della spalla del viadotto Fado, evidenziato dall'analisi delle foto aeree precedenti alla realizzazione dell'autostrada e probabilmente attribuibile alla porzione sommitale dell'accumulo dell'antico fenomeno.

Lo studio delle giaciture degli affioramenti individuati lungo lo sviluppo dell'areale considerato conferma sostanzialmente la delimitazione individuata dall'analisi fotogrammetrica e morfologica. Per un vasto settore del versante in esame risulta infatti evidente una ragionevole congruenza nell'assetto della scistosità, sostanzialmente a reggipoggio, con direzione ed inclinazione rispettivamente variabili tra 70° - 100° e tra 60° - 70°; tale assetto non è confermato entro il settore morfologicamente attribuito al pregresso fenomeno gravitativo, ove la scistosità presenta giaciture casuali.

La porzione di frana riattivata ha individuato un evidente settore di coronamento, poco a monte della sede stradale, che è proseguito lungo la sede stessa e successivamente sino alla parte mediana del versante, definendo i margini laterali del fenomeno. Le dislocazioni manifestatesi in seguito all'evento sono plurimetriche in senso verticale e pluridecametriche in senso orizzontale, che ha condotto alla totale compromissione delle opere di sottoscarpa esistenti. Il fenomeno gravitativo ha manifestato una larghezza sommitale di circa 50 m, a circa 100 m nella porzione terminale; lo sviluppo longitudinale del dissesto è stato di circa 80 m, su un dislivello di circa 60 m.

L'analisi della morfologia e delle fessurazioni evidenziate sul versante successivamente al dissesto ha indicato che, lungo il margine Nord, verso la parte terminale, il materiale dislocato è stato solo parzialmente contenuto dall'opera di sostegno al piede, localmente aggirata senza il completo scarico a valle del detrito. L'esame delle risultanze della seconda campagna di indagini ha fornito significative informazioni relative all'assetto stratigrafico di tale settore; in particolare il sondaggio S6 (2001) ha individuato un evidente livello di alterazione del substrato,

verosimilmente già interessato da antica dislocazione sino alla quota di 18,0 m da p.c. (alla cui quota si riscontra un livello milonitizzato ed argillificato), entro il quale si è ragionevolmente sviluppata la recente superficie di scorrimento. Gli affioramenti di zolle litoidi dislocate entro l'accumulo evidenziano materiali con caratteristiche analoghe al livello sopra descritto.

Lungo il margine Sud dell'accumulo, in prossimità del tratto di muro conservato - lato Genova, sono state osservate concentrazioni e venute idriche localizzate che sono state interessate da interventi di drenaggio profondo.

Nella seguente descrizione dei parametri dimensionali del fenomeno gravitativo in oggetto sono state adottate le indicazioni fornite dalla Regione Liguria per il censimento dei movimenti franosi nell'ambito degli studi per i piani di bacino.

Sinteticamente si riportano i principali elementi descrittivi di una frana:

- Classificazione: tipo di frana (cfr. Varnes, 1978; Amanti et alii, 1992);
- Coronamento: ovvero il materiale rimasto in posto praticamente non disturbato ed adiacente alle parti alte della scarpata principale;
- Scarpata principale: superficie ripida del terreno non dislocato posta al margine superiore del corpo di frana e formatasi a seguito del moto di scorrimento del materiale staccatosi dal terreno indisturbato;
- Unghia frontale della frana: il margine, arcuato, del materiale di frana dislocato alla maggiore distanza dalla scarpata principale;
- Punto inferiore: il punto dell'unghia situato a maggiore distanza dal punto sommitale della frana;
- Profondità del corpo di frana: massima profondità della massa dislocata misurata in direzione perpendicolare alla sua lunghezza;
- Lunghezza totale: distanza tra il coronamento e l'unghia frontale della frana;
- Larghezza del corpo di frana: massima larghezza della massa dislocata, misurata in direzione perpendicolare alla lunghezza dell'ammasso di frana;
- Altezza massima: altezza misurata perpendicolarmente dal coronamento alla quota del punto inferiore
- Angolo di inclinazione dell'accumulo ( $\alpha'$ );
- Angolo di inclinazione del pendio ( $\alpha$ ).

**Classificazione:** frana complessa che ha coinvolto il substrato roccioso e la copertura

**Coronamento:** a circa quota 330 m s.m.m.

**Scarpata principale:** localizzata immediatamente a monte del tracciato della S.S. 456 del Turchino

**Unghia frontale della frana:** localizzato in corrispondenza al tracciato ferroviario

**Punto inferiore:** quota 276 m s.l.m.m.

**Profondità del corpo di frana:** 12 m

**Lunghezza totale:** 80 m

**Larghezza del corpo di frana:** 50 m, nel settore adiacente al coronamento; 100 m nel settore di unghia frontale

**Altezza massima:** 54 m

**Area interessata:** 6000 m<sup>2</sup>

**Angolo di inclinazione dell'accumulo ( $\alpha'$ ):** 30°- 35°

**Angolo di inclinazione del pendio ( $\alpha$ ):** 25°- 28°

I rilievi di terreno hanno permesso di verificare la presenza di zolle di substrato intensamente tettonizzato, costituite da calcescisti e prasiniti, scompagnate dal movimento ma non disarticolate, le quali mostrano di aver subito una rotazione, come emerge dal confronto con le giaciture del substrato relativamente indisturbato che si osserva in settori adiacenti all'area instabile.

La notevole estensione planimetrica ed altimetrica dei depositi del corpo sedimentario A, la presenza di zolle anche in corrispondenza al coronamento del corpo franoso in oggetto, nonché la presenza di vuoti entro la copertura eluvio/detritico-colluviale (desunta dai sondaggi), induce ad interpretare il corpo A come depositi di un

accumulo di frana, probabilmente di natura composita. Tale accumulo, di età sconosciuta ma presumibilmente olocenica, è soggetto a riattivazioni recenti, testimoniate dalla presenza di numerose scarpate e rotture di pendenza interpretabili come nicchie di distacco di frane secondarie, in parte rimodellate ed attualmente vegetate e, ovviamente, dall'aggravarsi delle condizioni di instabilità osservate nel Novembre 2000.

Uno dei dati più interessanti emersi dalla campagna di indagini geognostiche è la presenza di una profonda (sino a 40 m circa) depressione del tetto del substrato roccioso, orientata perpendicolarmente al pendio.

L'esistenza di un fenomeno gravitativo pregresso coinvolgente l'intero versante, confermato dalla notevole potenza dei depositi sciolti, dalla presenza di una profonda depressione del tetto del substrato roccioso e da indizi morfologici, pone due principali problemi interpretativi:

- Non è stata individuata con certezza una nicchia di distacco di dimensioni congruenti con i volumi di materiale coinvolto dal movimento, che dovrebbe essere localizzata verosimilmente immediatamente a monte del tracciato autostradale; l'età del fenomeno potrebbe aver permesso una sua totale obliterazione e/o potrebbe essere mascherata dalla deposizione di depositi colluviali o da corpi di frana minori.
- Un accumulo o una serie di corpi di frana sovrapposti avrebbero ostruito il fondovalle, che nel tratto considerato ha una larghezza di una cinquantina di metri, provocando la formazione di un bacino lacustre e/o palustre immediatamente a monte dello sbarramento del Rio Turchino, ipotesi che non trova riscontro dai risultati del rilevamento geologico e geomorfologico.

Una soluzione a questi due problemi è la postulazione dell'esistenza di una deformazione gravitativa profonda che interessa gran parte del versante. Infatti, come è supportato dalla bibliografia specifica, fenomeni di questo tipo si differenziano dalle frane s.s. per i seguenti motivi:

- Una superficie di scorrimento ben definita non è indispensabile dal punto di vista del meccanismo deformativo;
- L'entità dello spostamento è molto minore rispetto alle dimensioni del fenomeno;
- Le dimensioni del fenomeno sono confrontabili con quelle del versante coinvolto.

In un quadro di questo tipo la maggior parte della deformazione si esplicherebbe in corrispondenza del substrato roccioso intensamente tettonizzato e alterato, producendo nei livelli superficiali, costituiti da depositi sciolti e/o a debole coesione, una generalizzata instabilità con la formazione di nuove superfici di taglio, come si è verificato a carico della S.S. 456 del Turchino e della linea ferroviaria.

### 4.5 Quadro del dissesto idrogeologico

La più recente cartografia inerente il dissesto idrogeologico è contenuta nel Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico - Ambiti regionali di bacino 12 e 13 (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (2023).

Nella Carta del dissesto idrogeologico si riportano stralci delle seguenti cartografie:

- Carta geomorfologica
- Carta della franosità reale

In particolare, per il settore in esame viene indicato il perimetro di frana complessa attiva compreso in una più ampia paleofrana. Tali perimetrazioni si discostano da quanto rilevato e cartografato dopo l'evento del 2000 (ved. tavole Carta geomorfologica e Carta geologica, sezione e profilo geologico).

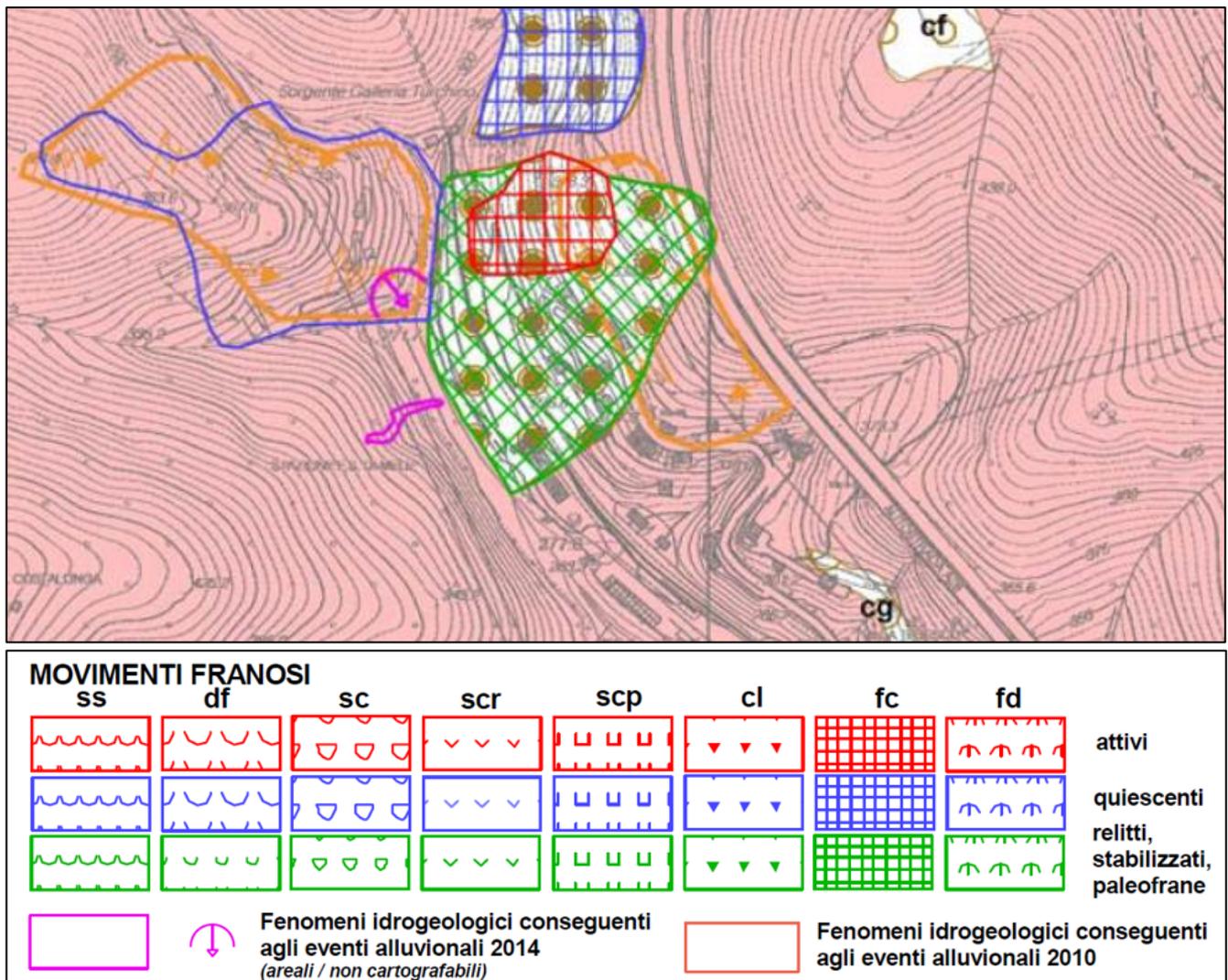


Figura 10 – Stralci dalla Tavola 213090 Carta geomorfologica del Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico - Ambiti 12 e 13 (Regione Liguria & Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, 2023).

In merito alla dinamica torrentizia, si sottolinea che le cartografie del Piano di bacino e del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) non riportano aree inondabili nel settore oggetto di intervento in quanto le perimetrazioni sono state effettuate solo nel tratto compreso all'incirca tra il concentrico di Mele e la costa.

Per le problematiche di natura idraulica si rimanda agli specifici elaborati progettuali: Relazione idrologico-idraulica, Corografia generale del reticolo idrografico e dei vincoli di natura idraulica, Carta dei bacini idrografici e Sezioni di verifica idraulica.

## 5 Descrizione dello stato di fatto

In seguito alle eccezionali precipitazioni del mese di Novembre 2000 infatti, si attivò un esteso movimento franoso interessante il settore di versante a monte della Stazione FS nel Comune di Mele in sponda orografica sinistra del rio Turchino. Il movimento franoso si estese da poco a monte della S.S. 456 “del Turchino” alla linea ferroviaria e compromise notevolmente sia la viabilità stradale lungo la statale suddetta sia il movimento ferroviario lungo la linea Genova – Ovada. Gli interventi di sistemazione parziale del versante sono stati oggetto di progettazione esecutiva datata 2003.



Figura 11 – Foto frontale della frana avvenuta nel Novembre 2000.

Nel primo caso sono stati eseguiti dei lavori da parte dell'ANAS per ripristinare il tracciato stradale a mezzo di un viadotto con fondazioni profonde. Nel secondo caso, invece, è stata necessaria l'interruzione di entrambi i binari di esercizio, è stato realizzato un nuovo tracciato tramite il collegamento in galleria con il vecchio binario dispari, è stata costruita una scogliera di protezione in modo da contenere la frana ed infine è stata realizzata un'opera di consolidamento del versante (in Figura 11 presenti già la viabilità alternativa e la scogliera di protezione).

L'intervento di consolidamento del versante che, ad oggi, risulta ultimato, consiste in diverse tipologie di opere suddivisibili secondo le seguenti macro-opere:

- Interventi di consolidamento del muro in muratura lato Ovada;
- Interventi di consolidamento del muro in muratura lato Genova;
- Interventi di consolidamento del muro crollato.

Di seguito si riporta una descrizione delle opere realizzate e tuttora presenti.

### 5.1 Interventi di consolidamento del muro in muratura lato Ovada

Il consolidamento dei muri rimasti illesi dopo il movimento franoso lato Ovada è stato effettuato a mezzo di cordoli in testa con micropali e tiranti tramite l'utilizzo di un graticcio di travi in acciaio, per un totale di circa 48.5 m.

Sulle porzioni di muro rimasto in posto in diretta prossimità del muro crollato, l'intervento è stato rimodulato senza l'ausilio dei tiranti con graticcio di travi, essendo presenti i terreni di riporto necessari per la stabilizzazione provvisoria del versante e per le lavorazioni. Il consolidamento di questa porzione di muro è oggetto della seguente progettazione.

Secondo la documentazione di progetto di variante risultano dunque i seguenti elementi:

- 1° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli realizzati in testa al cordolo in c.a. di lunghezza totale pari a 45 m (30 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- 2° e 3° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli di lunghezza totale pari a 35 m (23 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- 4° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli di lunghezza totale pari a 20 m (8 m di lunghezza libera più 12 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- Microdreni di lunghezza variabile 35-60 m, interasse longitudinale 4 m con perforazione 150-160 mm;
- Micropali di perforazione 200-250 mm, lunghezza 23 m, interasse medio longitudinale 0.4 m armatura tubolare in acciaio  $\Phi 168.3/12.5$  e lunghezza 23.8 m. I micropali sono stati collegati in testa tramite un apposito cordolo in c.a.

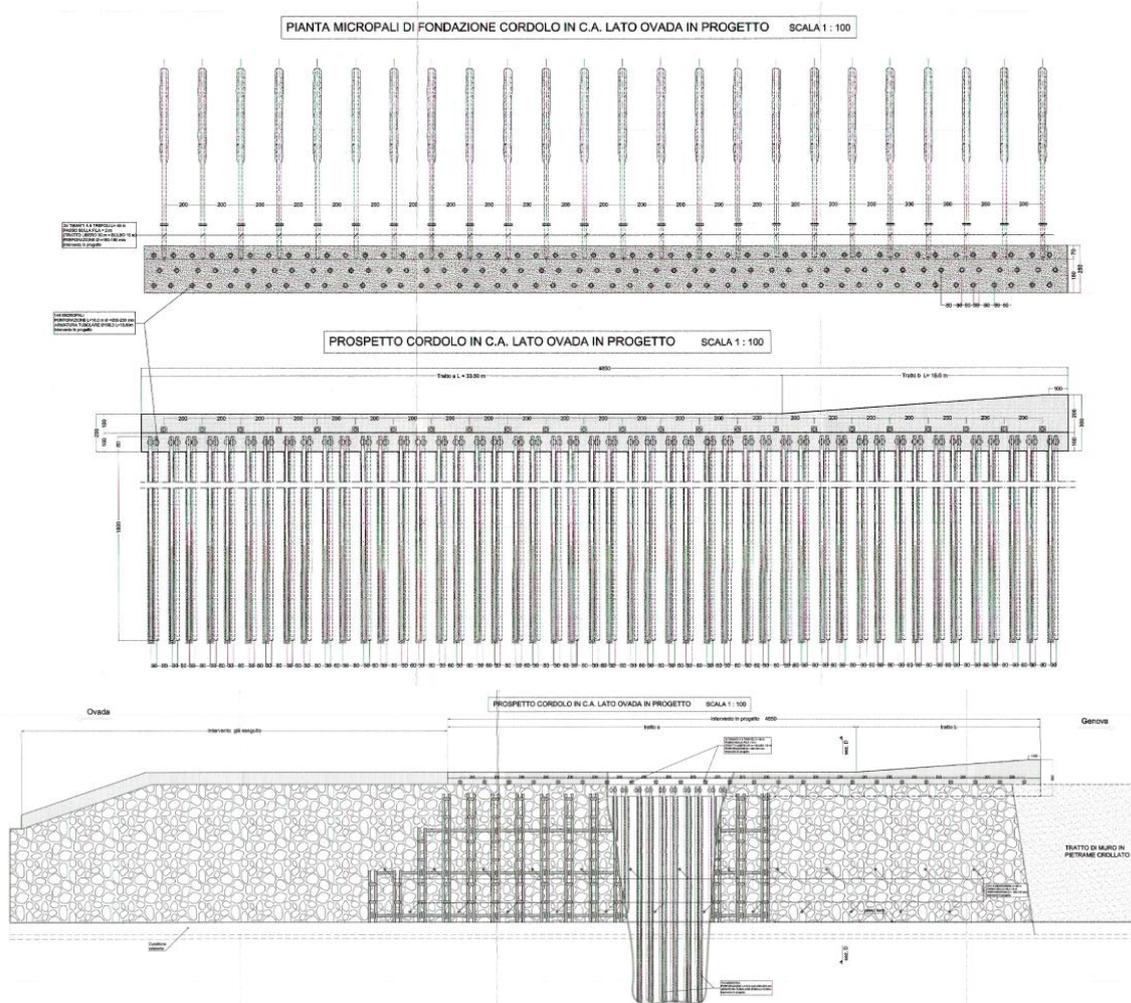


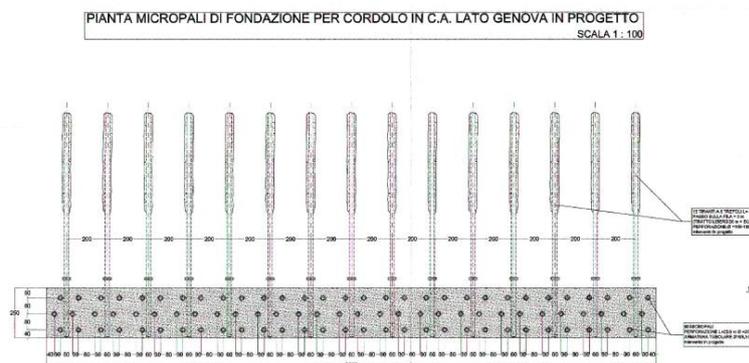
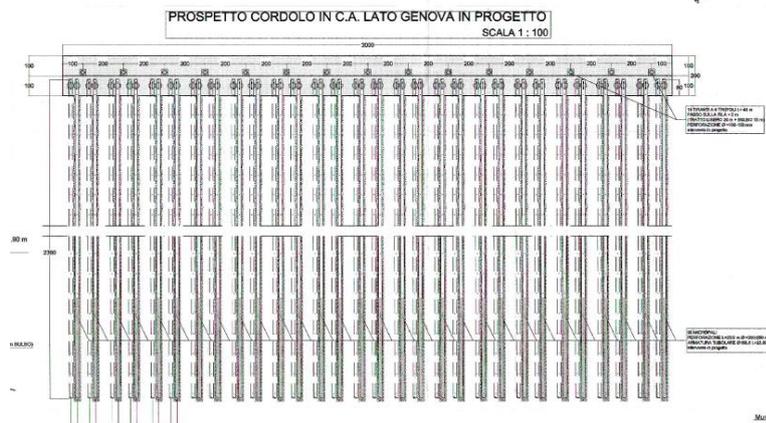
Figura 12 – Stralcio degli interventi realizzati di consolidamento del muro in muratura lato Ovada.

Alla base del muro risulta essere presente un cunettone di smaltimento acque esistente.

## 5.2 Interventi di consolidamento del muro in muratura lato Genova

Il consolidamento dei muri rimasti illesi dopo il movimento franoso lato Genova è stato effettuato a mezzo di cordoli in testa con micropali e tiranti tramite l'utilizzo di un graticcio di travi in acciaio, per un totale di circa 30 m. Secondo la documentazione di progetto di variante risultano dunque i seguenti elementi:

- 1° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli realizzati in testa al cordolo in c.a. di lunghezza totale pari a 45 m (30 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- 2° e 3° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli di lunghezza totale pari a 35 m (23 m di lunghezza libera più 12 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- 4° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli di lunghezza totale pari a 25 m (13 m di lunghezza libera più 12 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- 5° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli di lunghezza totale pari a 20 m (8 m di lunghezza libera più 12 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- Microdreni di lunghezza variabile 35-60 m, interasse longitudinale 4 m con perforazione 150-160 mm;
- Micropali di perforazione 200-250 mm, lunghezza 23 m, interasse medio longitudinale 0.4 m, armatura tubolare in acciaio  $\Phi 168.3/12.5$  e lunghezza 23.8 m. I micropali sono stati collegati in testa tramite un apposito cordolo in c.a.





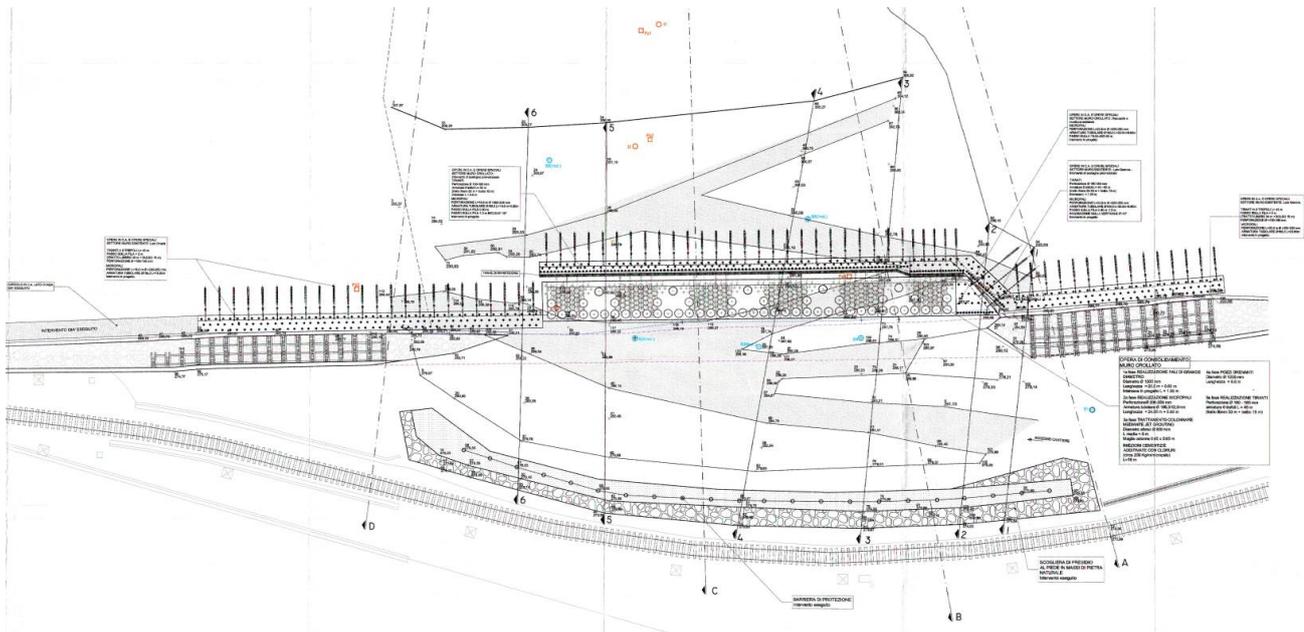


Figura 15 – Stralcio della planimetria di progetto 2003.

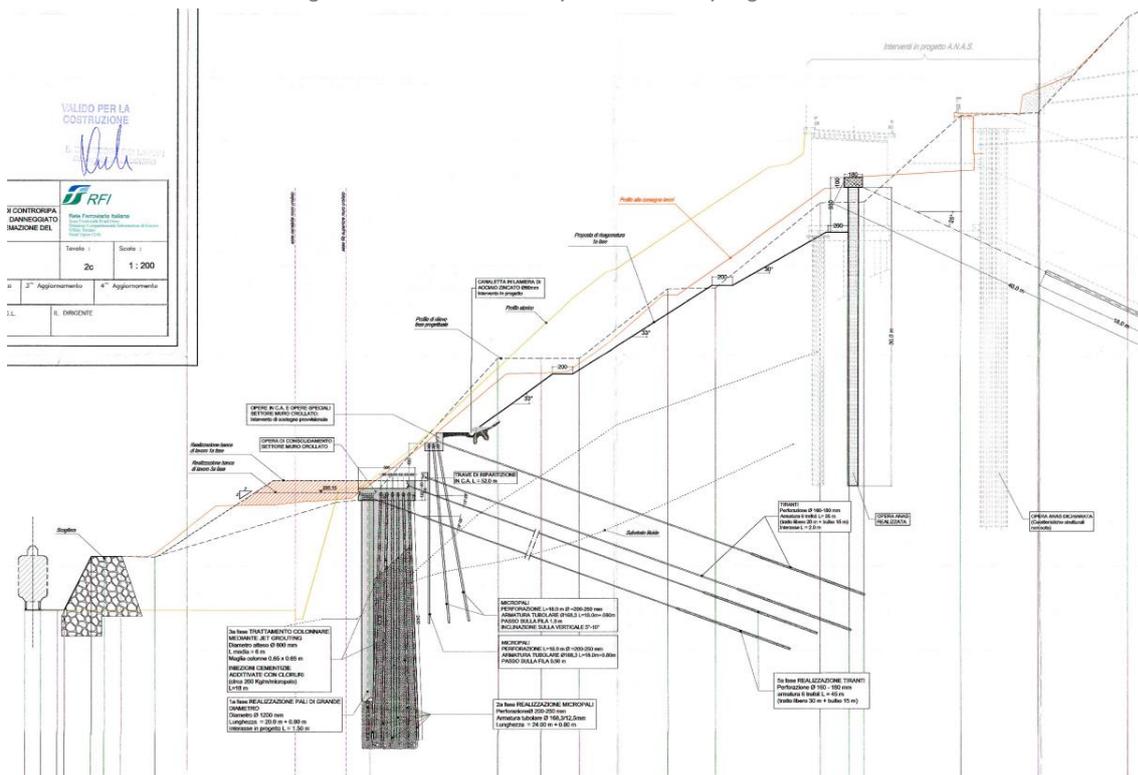


Figura 16 – Stralcio di una delle sezioni di progetto 2003 per il tratto di muro crollato.



Figura 17 – Foto frontale della sistemazione provvisoria del versante durante i lavori.



Figura 18 – Foto frontale della sistemazione provvisoria del versante a lavori ultimati.

Per la realizzazione degli interventi principali sono state realizzate delle opere provvisorie sulla parte superiore consistenti nei seguenti interventi:

- 1° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli realizzati in testa al cordolo in c.a. di lunghezza totale pari a 35 m (20 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2.0 m;
- 2° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli in c.a. di lunghezza totale pari a 35 m (20 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2.0 m;
- Micropali di perforazione 200-250 mm, lunghezza 18 m, interasse longitudinale variabile, armatura tubolare in acciaio  $\Phi 168.3/12.5$  e lunghezza 18.8 m. I micropali sono stati collegati in testa tramite un apposito cordolo in c.a.

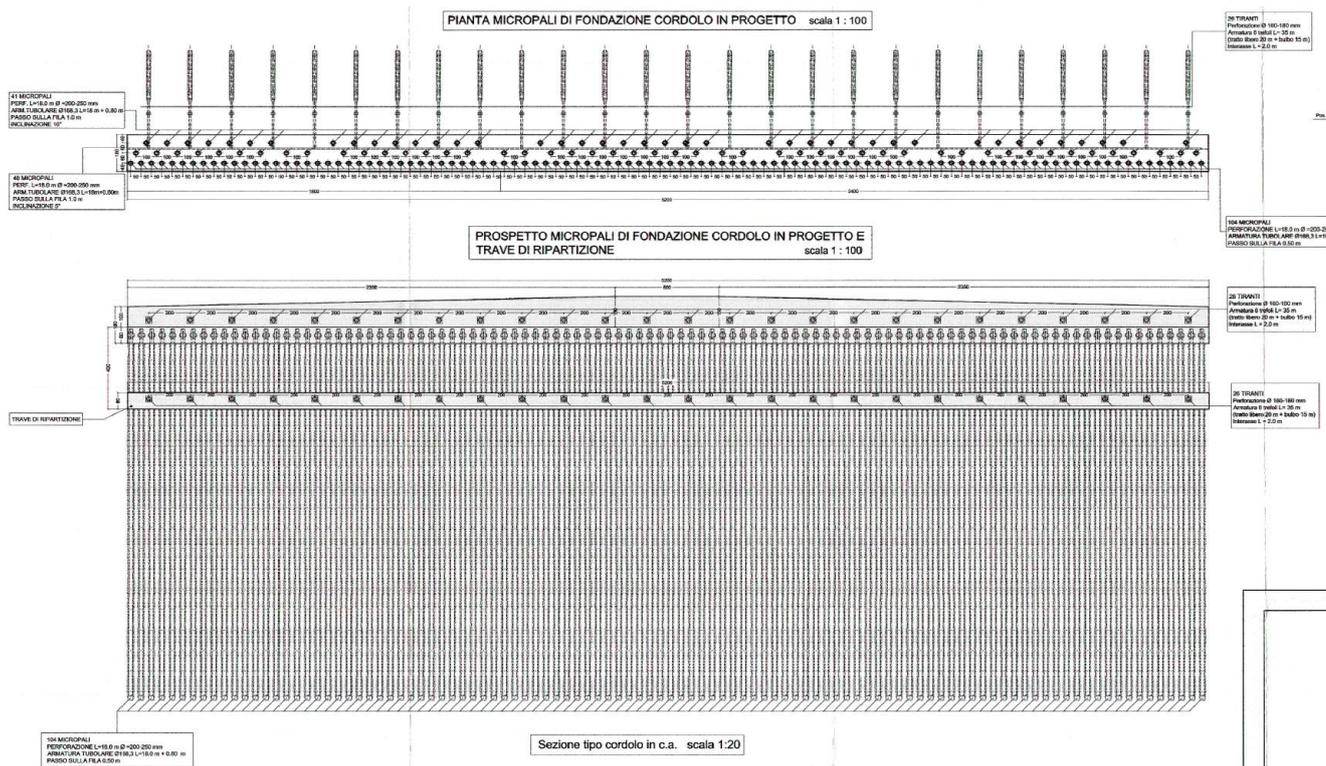


Figura 19 – Stralcio degli interventi provvisori realizzati sul settore di muro crollato.

Nel settore di collegamento tra muro crollato e muro rimasto in posto lato Genova sono state necessarie delle opere provvisorie di raccordo.

Sono stati realizzati i seguenti interventi provvisori:

- 1° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli realizzati in testa al cordolo in c.a. di lunghezza totale pari a 40-45 m (25-30 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 1.5 m;
- 2° ordine di tiranti con tiranti a 6 trefoli in c.a. di lunghezza totale pari a 40-45 m (25-30 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 1.5 m;
- Micropali di perforazione 200-250 mm, lunghezza 23 m, interasse medio longitudinale 0.4 m, armatura tubolare in acciaio  $\Phi 168.3/12.5$  e lunghezza 23.8 m. I micropali sono stati collegati in testa tramite un apposito cordolo in c.a.

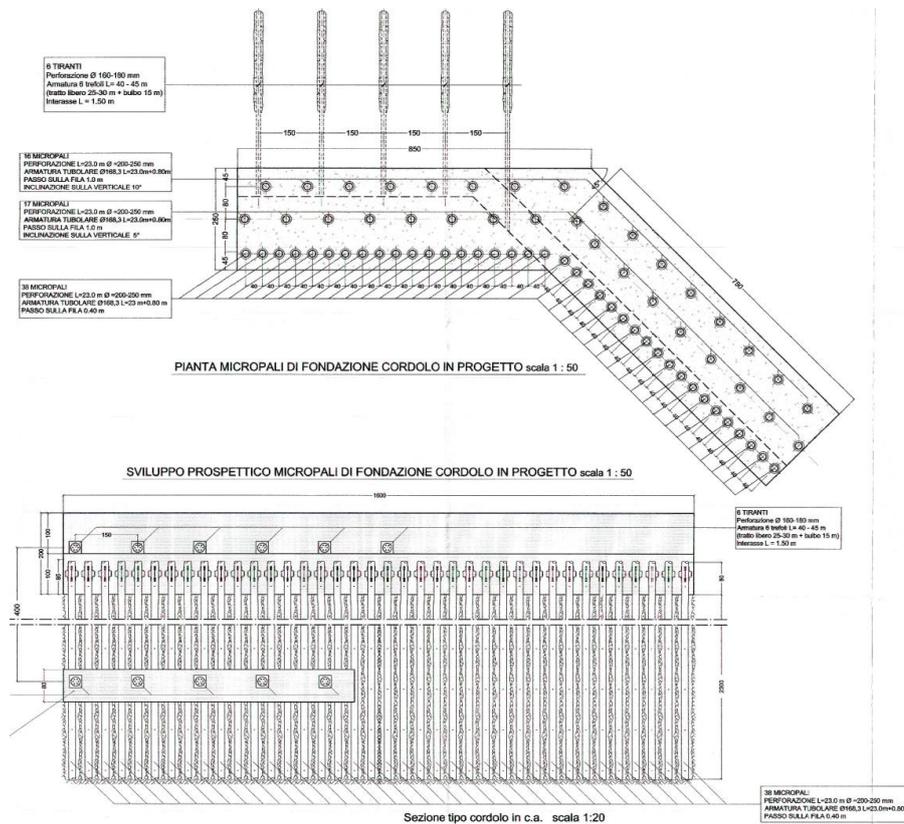


Figura 20 – Stralcio degli interventi realizzati nel settore di raccordo superiore.

L'intervento di progetto principale, finalizzato al ripristino e consolidamento meccanico del settore di muro crollato ha previsto i seguenti interventi:

- Pali di grande diametro con perforazione  $\Phi$ 1200 lunghezza 20.8 m ed interasse 1.5 m su fila principale, 4.5 m su fila secondaria;
- Pali di grande diametro con perforazione  $\Phi$ 1200 lunghezza 20.8 m ed interasse 1.5 m su fila principale, 4.5 m su fila secondaria.
- Micropali di perforazione 200-250 mm, lunghezza 24 m, interasse medio longitudinale 0.4 m, armatura tubolare in acciaio  $\Phi$ 168.3/12.5 e lunghezza 24.8 m. I micropali sono stati collegati in testa tramite un apposito cordolo in c.a..
- Jet grouting con diametro della singola colonna  $\Phi$ 800, lunghezza media 6 m e maglia delle colonne 0.65 m x 0.65 m;
- Realizzazione di pozzi drenanti di diametro  $\Phi$ 1200m, lunghezza 6 m;
- Tiranti a 6 trefoli realizzati in testa al cordolo in c.a. di lunghezza totale pari a 45 m (30 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;

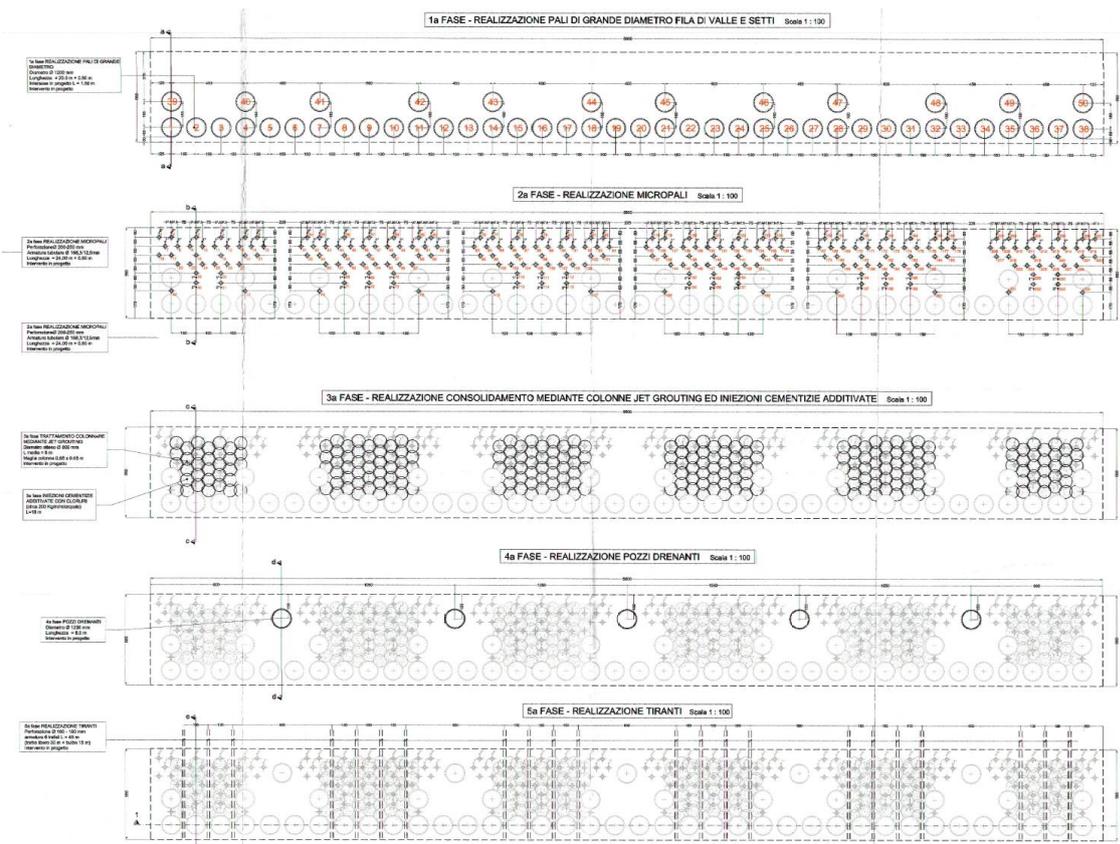


Figura 21 – Stralcio degli interventi realizzati di consolidamento del muro crollato.

Nel tratto di raccordo col muro rimasto in posto lato Genova sono stati realizzati i seguenti interventi:

- Tiranti con tiranti a 6 trefoli realizzati in testa al cordolo in c.a. di lunghezza totale pari a 45 m (30 m di lunghezza libera più 15 m di lunghezza di fondazione), perforazione 160-180 mm ed interasse longitudinale 2 m;
- Micropali di perforazione 200-250 mm, lunghezza 23 m, interasse medio longitudinale 0.4 m, armatura tubolare in acciaio  $\Phi 168.3/12.5$  e lunghezza 23.8 m. I micropali sono stati collegati in testa tramite un apposito cordolo in c.a.

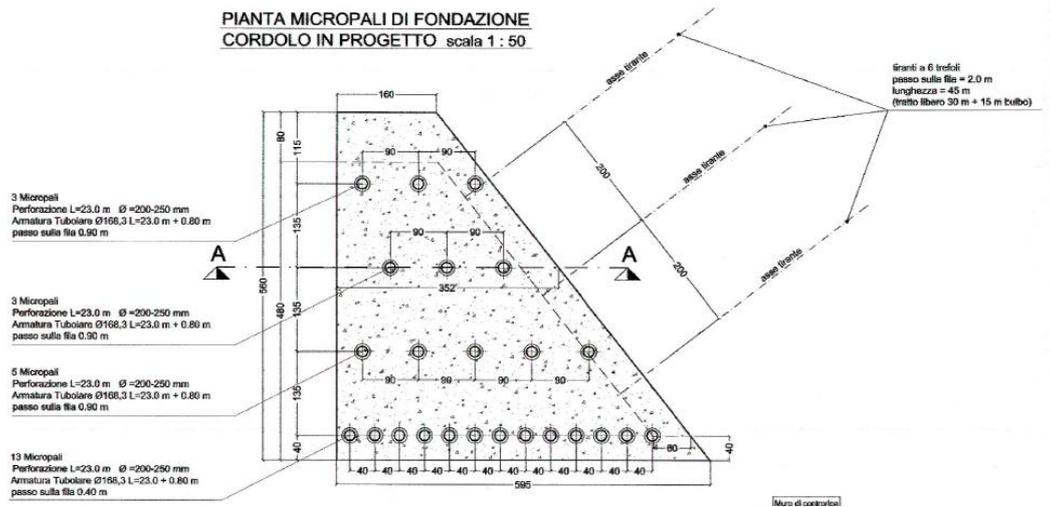


Figura 22 – Stralcio degli interventi realizzati nel settore di raccordo inferiore.

## 6 Screening dei vincoli

Si riporta di seguito una breve sintesi dei risultati emersi dall'analisi degli strumenti di pianificazione urbanistica, territoriale e paesaggistica, che insistono sull'area oggetto di intervento, evidenziando i vincoli e/o le indicazioni e le prescrizioni in essi contenuti.

### 6.1 ANALISI STORICO-ARCHITETTONICO-MONUMENTALE

L'opera risulta non tutelata *ope legis* ai sensi dell'art. 10 del D.Lsg. 42/04, in quanto opera di proprietà pubblica con meno di settanta (70) anni.

Sarà quindi **NON NECESSARIO** procedere alla richiesta di **Autorizzazione ex art. 21** del D.lgs. 42/04 o alla procedura di VIC ai sensi dell'art. 12 del D,Lgs. 42/04

### 6.2 ANALISI ARCHEOLOGICA

Trattandosi di opera pubblica, l'intervento risulta sottoposto a quanto previsto dall'art. 28 comma 4 del D.Lgs. 42/04 e dall'art. 25 del D.Lgs. 50/2016 – Archeologia Preventiva.

**Data la tipologia di progetto si presuppone che esso prevederà opere di scavo, SARA' NECESSARIO attivare la prima fase della procedura dell'archeologia preventiva, ovvero trasmissione di documentazione progettuale accompagnata da Verifica Preventiva dell'Interesse Archeologico (VPIA), redatta secondo le normative previste nel D.P.C.M. del 14 febbraio 2022 da professionista abilitato.**

La documentazione dovrà essere inoltrata e sottoposta alla competente Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Genova e la provincia di La Spezia a mezzo PEC all'indirizzo [sabap-met-ge@cultura.gov.it](mailto:sabap-met-ge@cultura.gov.it) – [sabap-met-ge@pec.cultura.gov.it](mailto:sabap-met-ge@pec.cultura.gov.it)

Il funzionario responsabile della tutela territoriale è la dott.ssa Cristina Bartolini contattabile per informazioni all'indirizzo [cristina.bartolini@beniculturali.it](mailto:cristina.bartolini@beniculturali.it)

### 6.3 ANALISI PAESAGGISTICA

Dall'analisi degli strumenti di pianificazione regionale e provinciale, **l'area di intervento è limitrofa ma non intercetta un'area vincolata secondo art.142 c.1 lettera g) aree boscate del D.Lgs 42/2004. La domanda di autorizzazione paesaggistica è quindi non necessaria ma in questo particolare caso andrà fatta in via cautelativa data la vicinanza ad essa e si rimanda comunque all'amministrazione competente il quesito riguardante quale iter autorizzativo percorrere.**

Tale richiesta dovrà essere presentata in via telematica attraverso il SUE del Comune di Mele, all'indirizzo web: <https://www.mele.cportal.it/>, il responsabile comunale è Gian Michele Ferrando e l'indirizzo PEC è [protocollo@pec.comune.mele.ge.it](mailto:protocollo@pec.comune.mele.ge.it).

## 6.4 ANALISI URBANISTICA

L'area oggetto di intervento ricade in zona ZEBb- Boschiva e FE- Ferrovia, come evidenziato dalla tavola di zonizzazione del Programma di Fabbricazione. del Comune di Mele.

**Sono quindi NON NECESSARIE autorizzazioni di tipo urbanistico.**

L'Ufficio tecnico del Comune di Mele ha rilasciato parere favorevole con prescrizioni, in data 4 Maggio 2005. Si riporta il nullaosta sopra citato:

## 6.5 ANALISI IDROGEOLOGICA

L'area di intervento ricade all'interno delle seguenti perimetrazioni normate dal PAI:

- Carta degli elementi a rischio:
  - 1) **E0 – Aree disabitate o improduttive**
  - 2) **E1– Edifici isolati, infrastrutture viarie minori, zone agricole e/o verde pubblico;**
  - 3) **E3 – Centri urbani, grandi insediamenti industriali e commerciali, beni architettonici storici e artistici.**
- Carta della suscettività al dissesto:
  - 1) **Pg4 – Molto elevata (art 16, c. 2 e art. 16 ter);**
  - 2) **Pg3b – Elevata (art 16, c. 3 e art. 16 ter);**
- Carta delle aree sottoposte a vincolo idrogeologico: **Aree sottoposte a vincolo idrogeologico**
- Carta della franosità reale: **fc – frana complessa**

**L'area di intervento ricade all'interno di zone normate dal PAI e pertanto SARA' NECESSARIO richiedere autorizzazioni presso la Provincia di Genova Area 06 – Difesa del Suolo, Opere Ambientali e Piani di Bacino (contattabile all'indirizzo pec [protocollo@pec.regione.liguria.it](mailto:protocollo@pec.regione.liguria.it) e [difesasuolo.genova@cert.regione.liguria.it](mailto:difesasuolo.genova@cert.regione.liguria.it)) e presso la Comunità Montana Argentea dei Comuni di Arenzano, Cogoleto e Mele (contattabile all'indirizzo [abiamonti@mclink.it](mailto:abiamonti@mclink.it)).**

La richiesta di parere di conformità dell'intervento al Piano di Bacino, Ambito 13 è stata ottenuta il 24 maggio 2005 con esito favorevole con prescrizioni, da parte dell'ente provinciale, relative a: " Bisognerà eseguire i lavori di manutenzione delle sponde e di sgombero e pulizia (proquota) dell'alveo del corso d'acqua, mantenendo le condizioni di deflusso su cui si è basato lo schema di verifica idraulica".

Inoltre è stata richiesta autorizzazione all'intervento alla Comunità Montana Argentea dei Comuni di Arenzano, Cogoleto e Mele e ottenuto parere favorevole con prescrizioni, in data 11 Maggio 2005, relative a:

*"1) Devono essere recepite tutte le prescrizioni contenute nella relazione geologica ed eseguite le opere di sostegno e fondazioni secondo quanto previsto nel progetto definitivo oggetto di autorizzazione. Tali opere, prima di essere realizzate, dovranno essere calcolate e verificate in base alle caratteristiche geotecniche scaturite dall'esame dei primi scavi effettuati;*

*2) La paratia di consolidamento a monte della galleria deve essere dotata di opere di captazione delle acque subsuperficiali e che queste vengano convogliate verso il cunicolo drenante di progetto. Il progetto esecutivo con tale soluzione progettuale dovrà essere consegnato a questo ente prima dell'inizio dei lavori.*

*c) i lavori devono essere ultimati entro il 20/04/2007"*

## 6.6 ANALISI AMBIENTALE

L'area oggetto di intervento **NON RICADE** all'interno di una Riserva Naturale Regionale come evidenziato nella tavola DF6 del P.T.C.P. della Provincia di Genova.

L'area oggetto di intervento non ricade all'interno di una Riserva Naturale Regionale o SIN e pertanto **NON SARA' NECESSARIO** richiedere autorizzazioni di questo tipo.

Nonostante l'insussistenza di vincoli ambientali gravanti sull'area dell'intervento, è stato ottenuto parere favore il 30 giugno 2005 dall'ARPAL.

### TABELLA RIEPILOGATIVA

Vincolo	Necessario	Ente	Referente	Tempistica	NOTE
Urbanistico	NO				
Monumentale	NO				
Archeologico	SI	SABAP-LIGURIA	Cristina Bartolini	60 giorni	VPIA da valutare in base agli interventi
Paesaggistico	CAUTELATIVA	Comune di Mele		Da verificare	Da verificare
Idrogeologico	SI		Provincia di Genova (Area 06 – Difesa del Suolo, Opere Ambientali e Piani di Bacino) e presso la Comunità Montana Argentea dei Comuni di Arenzano, Cogoleto e Mele	Da verificare	
Ambientale	CAUTELATIVA				VIncA
	CAUTELATIVA				VIA

**Si rammenta che è necessario verificare la proprietà delle particelle interessate dall'intervento e che per l'avvio degli iter su proprietà extra ferroviaria saranno necessari atti di intesa/cessioni/contratti con i privati delle aree o atti di esproprio senza i quali non ci sono i presupposti per avviare alcuna pratica.**

Qualora inoltre le lavorazioni dovessero subire variazioni rispetto a quanto indicato al paragrafo 2 della presente relazione, la tabella andrà integrata e/o modificata in base alle nuove lavorazioni previste.

## 7 Soluzione progettuale e interventi di progetto

L'intervento oggetto di questa progettazione esecutiva consiste nella definitiva messa in sicurezza del versante franato attraverso la realizzazione delle seguenti opere.

- Galleria artificiale prefabbricata;
- Scatolare drenante prefabbricato;
- Prolungamento dei pozzi drenanti esistenti;
- Opere di consolidamento sul tratto di muro crollato;
- Opere di consolidamento sui tratti di muro rimasti in posto;
- Consolidamento dei terreni di fondazione;
- Rampa di accesso;
- Opere di finitura superficiali sulle strutture a vista;
- Risagomature del versante;
- Interventi di rafforzamenti corticali;
- Nuovo tracciato ferroviario di progetto.

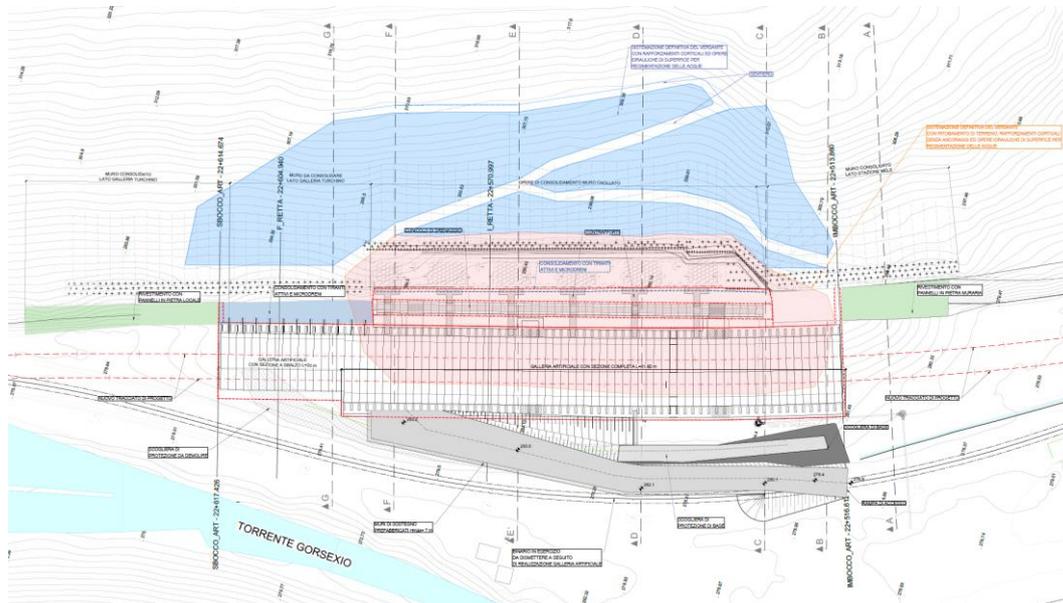


Figura 23 – Stralcio della planimetria di progetto.

Si descrivono di seguito le opere sopra elencate riportandone delle descrizioni.

### 7.1 Galleria artificiale prefabbricata e galleria con struttura a sbalzo provvisoria

La galleria artificiale, lunga complessivamente 101.6 m e realizzata con tecnica di prefabbricazione sarà costituita da un tratto a sezione completa per circa 81.6 m e da un tratto a sezione completa, realizzato in una prima fase con struttura a sbalzo provvisoria per circa 20 m a partire dall'imbocco lato Ovada. Su tutta la galleria saranno previsti dei moduli prefabbricati da 1.25 m.

La scelta di realizzare le strutture con tecnica di prefabbricazione è stata adottata al fine di limitare le tempistiche di cantiere e le interferenze con l'esercizio della linea ferroviaria, pur mantenendo adeguate capacità prestazionali nel rispetto della sicurezza e delle norme tecniche attuali.

Per quanto riguarda la struttura a sezione completa si parla di una struttura prefabbricata a portale costituita da una successione di moduli prefabbricati in cemento armato vibrato prodotti in stabilimento, dotati di marcatura

“CE”, formanti un manufatto con due piedritti verticali distanti tra loro la luce netta  $L = 11,0$  m, due pareti inclinate a smusso e una copertura tra i due smussi posta ad un'altezza  $H = 7,20$  m dall'estradosso della fondazione. Ogni modulo è formato da due elementi prefabbricati. Il manufatto è sagomato come illustrato nella figura seguente ed è dimensionato per resistere all'effetto delle spinte laterali e verticali del terreno, in assenza di spinta idraulica, nel rispetto delle vigenti leggi e norme tecniche delle costruzioni. I difetti di planarità della faccia a vista, verificati su m 4, non supereranno mm 8 e gli spigoli verticali in vista saranno arrotondati. Le armature tese di ciascun elemento saranno continue anche nel passaggio fra ritto, smusso e copertura.

Di rappresenta di seguito uno schema tipologico della struttura chiusa.

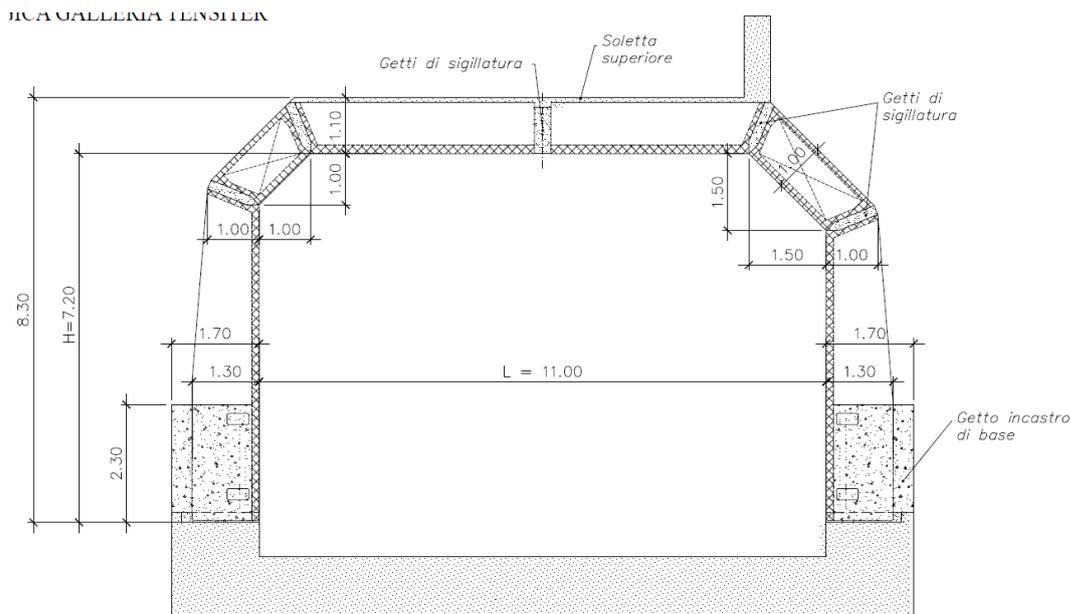


Figura 24 – Sezione tipo dell'impalcato della galleria artificiale.

La galleria sarà inoltre collegata alle opere di contenimento tramite dei contrafforti in c.a. gettati in opera. Saranno presenti in totale 6 contrafforti ad interasse 10 m.

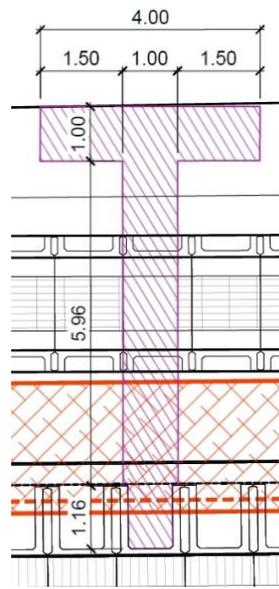


Figura 25 – Stralcio planimetrico di uno dei contrafforti.

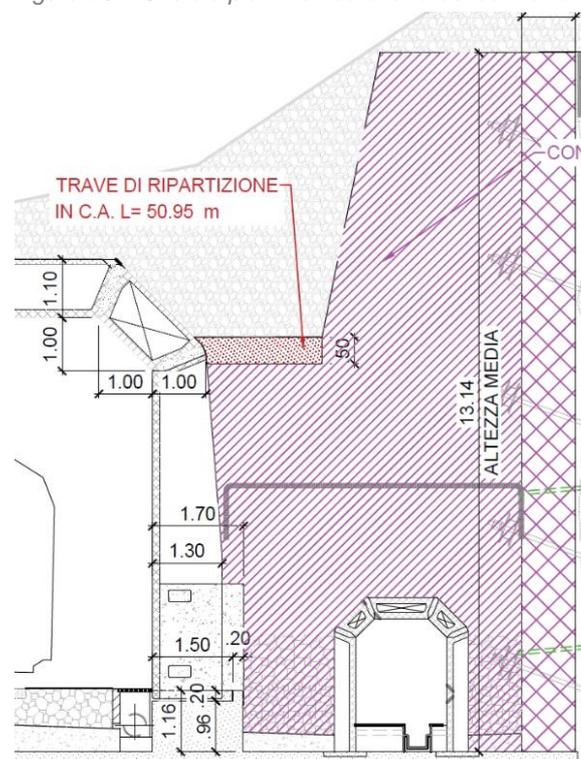


Figura 26 – Stralcio di una sezione di uno dei contrafforti.

Il collegamento tra i contrafforti e la galleria artificiale avverrà tramite il getto in opera dei contrafforti in prossimità di 2 conci successivi. All'interno dello stesso getto sarà realizzata in prossimità del giunto tra ritto e obliquo della galleria, un'apposita trave in c.a. di spessore circa 50 cm e larghezza variabile intorno a 2.2-2.4 m circa. I contrafforti saranno inoltre collegati direttamente alla platea di fondazione.

Nel tratto di galleria lato Ovada per circa 20 m la soluzione progettuale prevede in condizioni definitive una struttura di dimensioni medesime dell'impalcato a sezioni chiusa, realizzata però in 2 differenti fasi.

Al fine di ridurre le interferenze con l'esercizio dei binari in prossimità dell'imbocco lato Ovada in una prima fase si realizzerà una struttura a sbalzo provvisoria, costituita da una successione di elementi prefabbricati in cemento armato, prodotti in stabilimento, dotati di marcatura "CE", sostenuti a monte da appositi tiranti provvisori). Durante il montaggio e per una breve fase transitoria gli elementi prefabbricati saranno ancorati all'opera di contenimento di monte tramite una serie di tiranti provvisori.

Durante questa fase saranno inoltre realizzati i contrafforti di collegamento con l'opera muraria di monte.

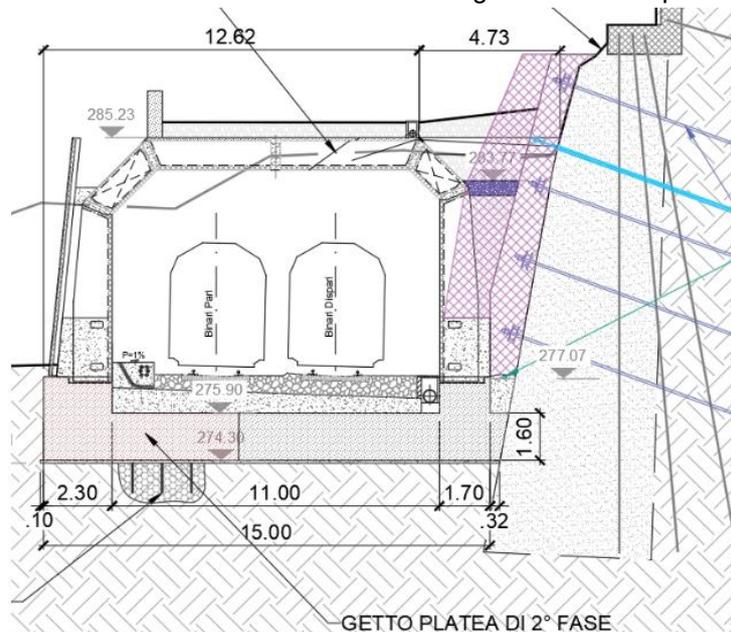


Figura 27 – Sezione tipo dei contrafforti previsti lato Ovada.

Contrariamente ai contrafforti della zona centrale, questi contrafforti non saranno direttamente collegati alla platea di base al fine di poter garantire un eventuale sfogo delle acque potenzialmente accumulabili a tergo della struttura.

Il collegamento tra contrafforti e struttura avverrà all'interno dei getti di collegamento di conci successivi.

In una seconda fase, a seguito della messa in esercizio del binario di progetto Dispari, sarà varata una seconda parte di struttura, collegata appositamente alla struttura di prima fase, avente una sagoma complessiva del tutto equivalente alla rimanente struttura in sezione chiusa (vedi immagini seguenti).

Si riportano di seguito lo schema strutturale tipo della struttura prevista e delle fasi necessarie alla sua installazione.

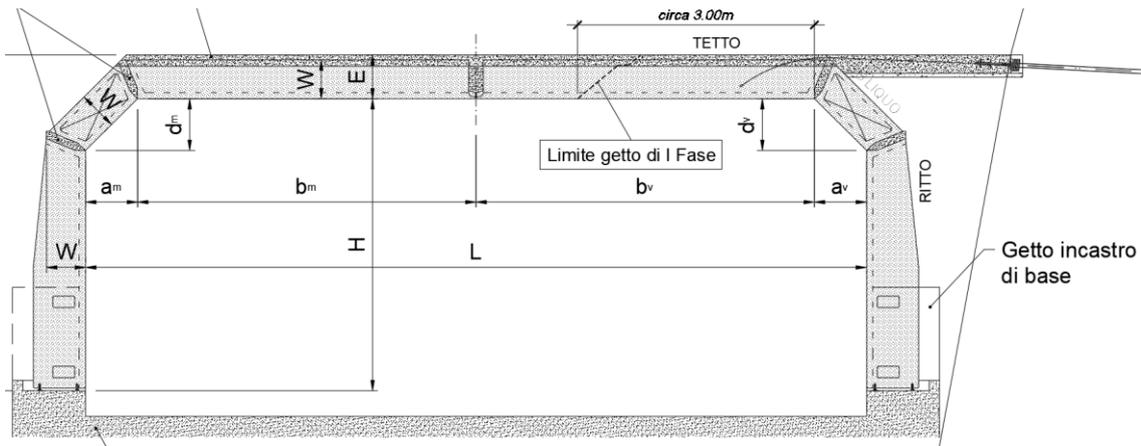


Figura 28 – Sezione tipo dell'impalcato della galleria artificiale da realizzare in 2 fasi.

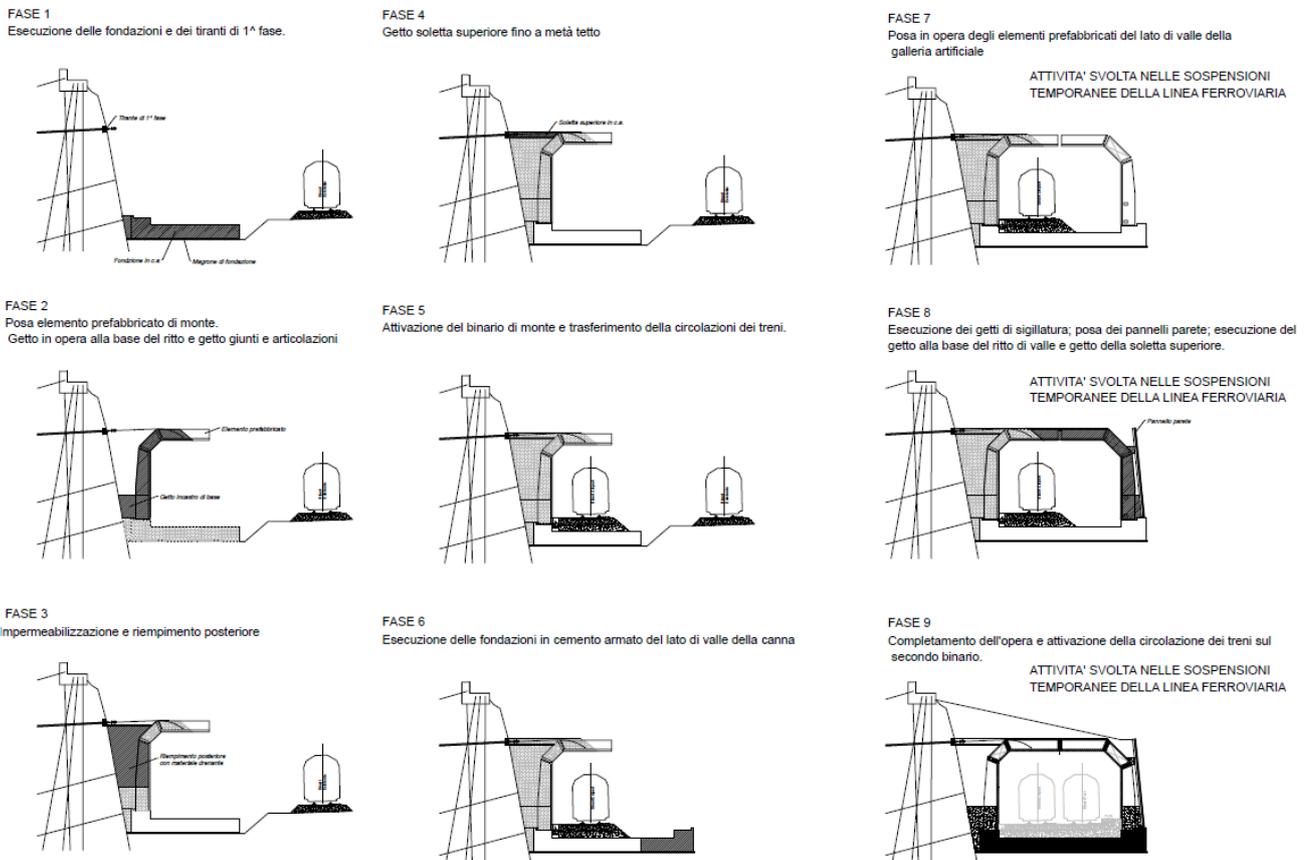


Figura 29 – Schema tipo delle fasi necessarie alla realizzazione della struttura in 2 fasi.

La galleria presenta delle fondazioni dirette consistenti su una platea di spessore 1.6 m e dei muretti in c.a. di altezza variabile in prossimità dei ritto finalizzati all'installazione e al completamento dei getti.

Per lo scavo necessario alla realizzazione della platea di fondazione e per lo scavo delle opere idrauliche in prossimità dell'imbocco lato stazione Mele, sarà necessaria la realizzazione di una paratia di micropali provvisoria.

La paratia sarà costituita da micropali con perforazione 250 mm, armatura con tubolari 168.3/10 ed interasse di 0.4 m. Il collegamento dei micropali avverrà tramite un cordolo da 50x50 cm.

Per quanto riguarda i terreni di fondazione della galleria presentano generalmente delle buone caratteristiche meccaniche, essendo prevista al piano di imposta degli scavi delle fondazioni (secondo quanto indicato dalle indagini geognostiche e sismiche eseguite) la presenza di litologie rocciose-subrocciose di -buona fattura.

Tuttavia, su alcune verticali di indagine eseguite a valle del versante, è stata rinvenuta talvolta la presenza di materiali di detrito/riporto di mediocri caratteristiche fino a profondità di circa 4-5 m dal piano di imposta previsto dalle fondazioni (ad es. sondaggio geognostico S6 2004).

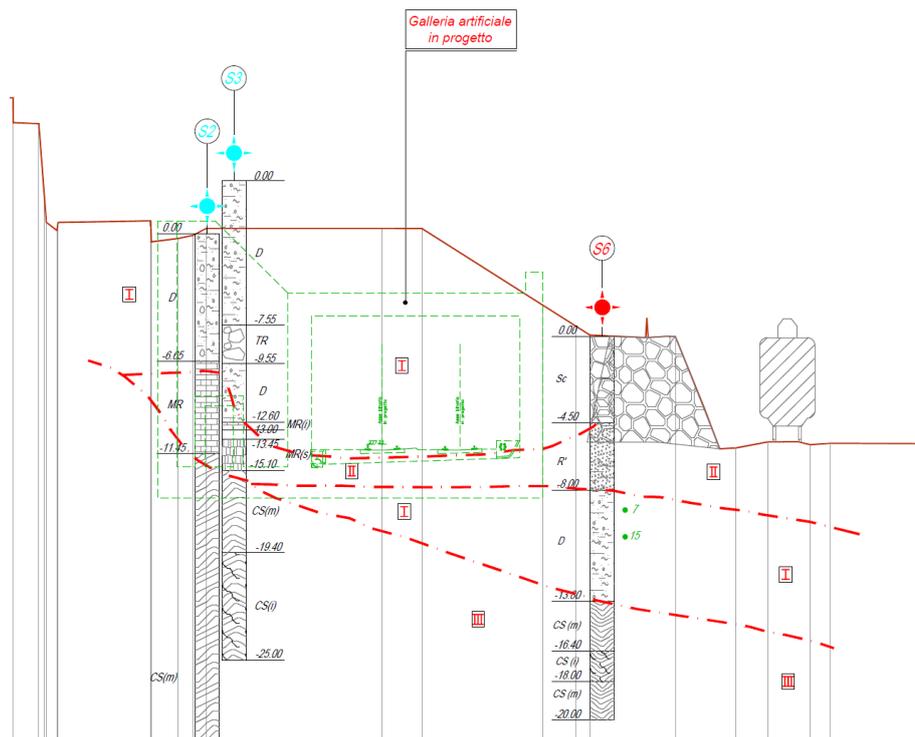


Figura 30 – Stralcio di una sezione geotecnica.

Nonostante la platea di fondazione sia in grado di soddisfare correttamente le verifiche di capacità portante, essendo previste localmente alcune importanti discontinuità in termini di rigidità tra le litologie presenti potrebbero verificarsi eventuali problematiche legate a cedimenti differenziali della struttura.

Si prevede dunque un consolidamento dei terreni superficiali tramite iniezioni di boiacca cementizia additivata con resina acrilica.

La lunghezza delle canne, disposte a maglia 1mx1m, sarà variabile e crescente da monte verso valle fino a una lunghezza massima di 5 m, secondo l'andamento ipotizzato dei materiali meno rigidi.

L'ubicazione e la disposizione delle canne di consolidamento saranno da verificare a seguito dei materiali riscontrati al termine degli scavi fino al piano di posa della fondazione.

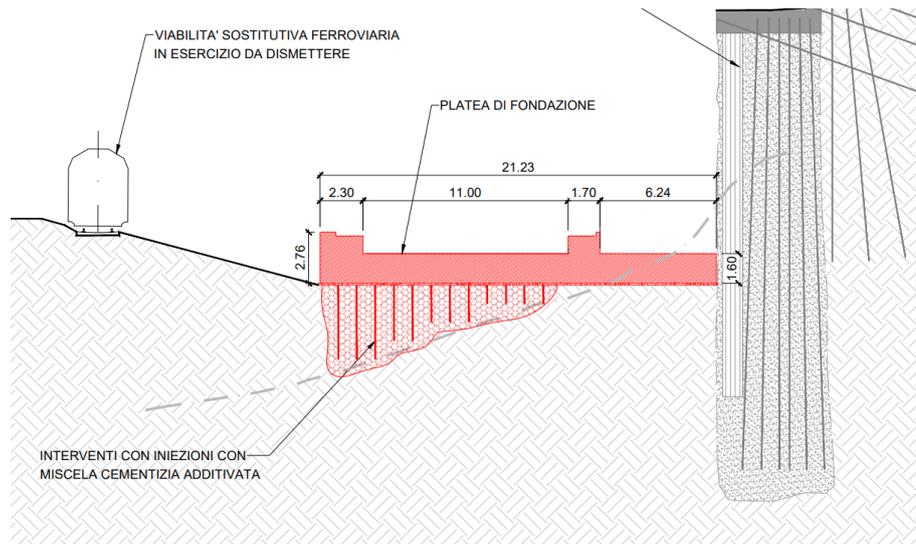


Figura 31 – Stralcio di una delle sezioni di progetto.

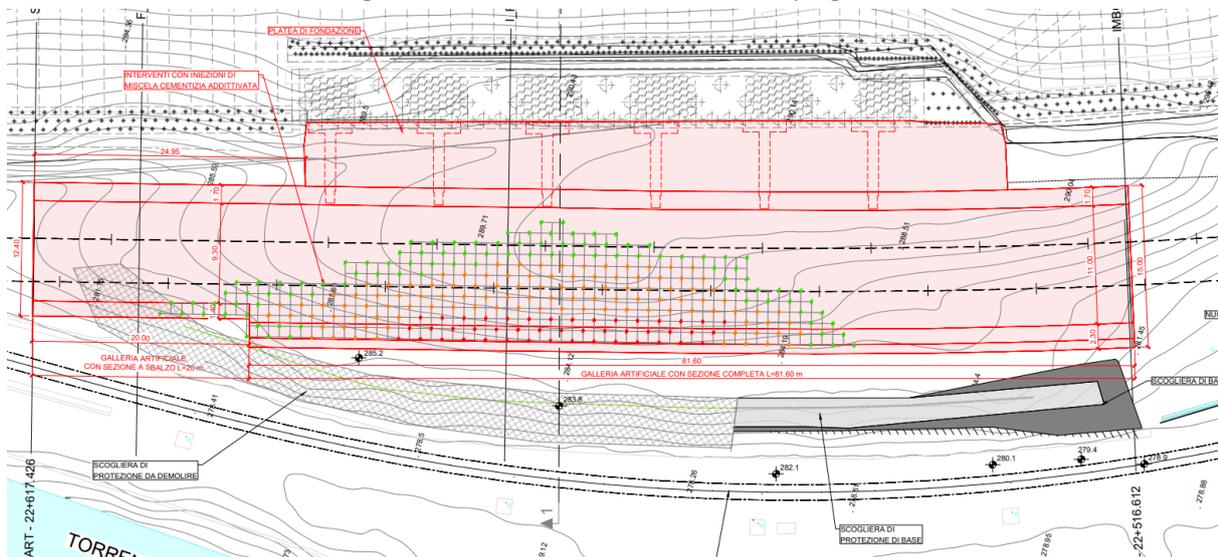


Figura 32 – Stralcio della planimetria con ubicazione dei consolidamenti.

Al fine inoltre di tarare la tipologia della resina, i rapporti di miscelazione ed i volumi di iniezione e le modalità operative per garantire la massima sicurezza ed i migliori risultati sarà predisposto un campo prova.

Inoltre prima e dopo l'esecuzione dei consolidamenti dovranno essere prelevati dei campioni di terreno al fine di poter verificare la corretta esecuzione dei consolidamenti e le ipotesi progettuali.

## 7.2 Scatolare drenante e paramento drenante

Lo scatolare drenante consiste in una struttura prefabbricata a portale costituita da una successione di moduli prefabbricati in cemento armato vibrato prodotti in stabilimento, dotati di marcatura "CE", formanti un manufatto con due piedritti verticali distanti tra loro la luce netta  $L = 1,70$  m, due pareti inclinate a smusso e una copertura tra i due smussi posta ad un'altezza  $H = 2,50$  m dall'estradosso della fondazione.

Ogni modulo è formato da un elemento prefabbricato. Il manufatto è sagomato come nella figura seguente ed è dimensionato per resistere all'effetto delle spinte laterali e verticali del terreno, in assenza di spinta idraulica, nel rispetto delle vigenti leggi e norme tecniche delle costruzioni.

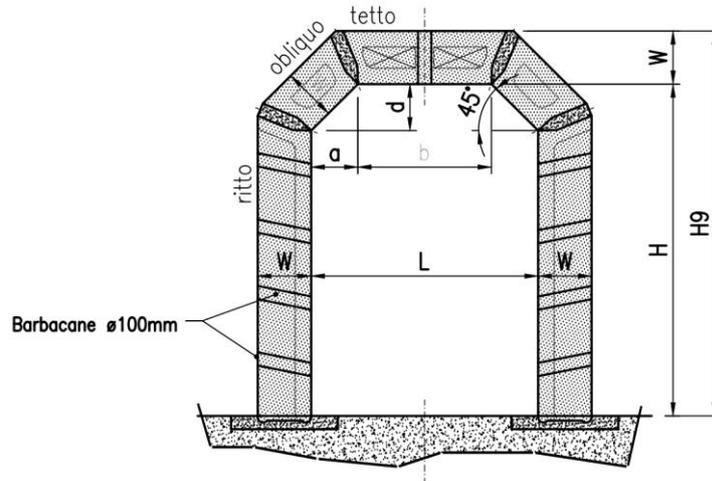


Figura 33 – Sezione tipo dello scatolare drenante.

Attorno allo scatolare, su cui sono previsti degli appositi fori drenanti, sarà realizzato un paramento drenante in pietrame e materiale di apposita pezzatura che avrà lo scopo di incanalare le acque provenienti dai sistemi di drenaggio delle opere di contenimento. Sarà inoltre presente una calza di geotessile al fine di separare il materiale drenante dal materiale di ricoprimento.

Tale opera avrà la funzione fondamentale di drenare e portare via le acque provenienti dai microdreni e le acque di accumulo della terra gravante al cunicolo.

Al di sopra del paramento drenante sarà previsto un apposito ricoprimento di terreno, con terre provenienti dalle operazioni di scavo.

### 7.3 Prolungamento del pozzo drenante

Al fine di poterne garantire l'ispezionabilità e la manutenzione si realizza una struttura scatolare di sezione intera 1.2mx1.2m con spessore delle strutture 30 cm e altezza 5 m.

### 7.4 Opere di consolidamento sul tratto di muro crollato

Sul tratto di muro crollato sono stati già realizzati degli interventi di ripristino tramite pali di grande diametro, colonne di jet-grouting e micropali, collegati in testa tramite delle travi in c.a. di collegamento con dei tiranti in trefoli.

Al piede del muro risulta ora presente una banca di terreni di riporto, utilizzati per la stabilizzazione provvisoria del versante.

Contestualmente alle fasi di rimozione del terreno di riporto depositato al piede del versante, sarà prevista, la realizzazione di 4 file di ancoraggi provvisori costituiti da barre cave autoperforanti, con diametro di perforazione 100 mm, interasse variabile, inclinazione di 20° rispetto all'orizzontale e lunghezza totale variabile:

- 1° fila lunghezza totale 42 m;
- 2° fila lunghezza totale 39 m;
- 3° fila lunghezza totale 36 m;
- 4° fila lunghezza totale 33 m;
- 5° fila lunghezza totale 30 m.

Sugli ancoraggi è prevista un'azione di tesatura iniziale pari a 325 kN.

Gli ordini di tiranti saranno collegati tramite delle travi di ripartizione consistenti nell'accoppiamento di 2 profili HEB 180. Tali tiranti svolgeranno la sola funzione di ancoraggio provvisorio.

Saranno inoltre previsti dei microdreni in PVC ad interasse di circa 4 m, diametro minimo 50 mm e lunghezza variabile tra 50-60 m direttamente collegati ai fori del cunicolo drenante al fine di garantirne l'ispezionabilità e la manutenzione.

Si riportano di seguito degli stralci di una sezione e del prospetto degli interventi.

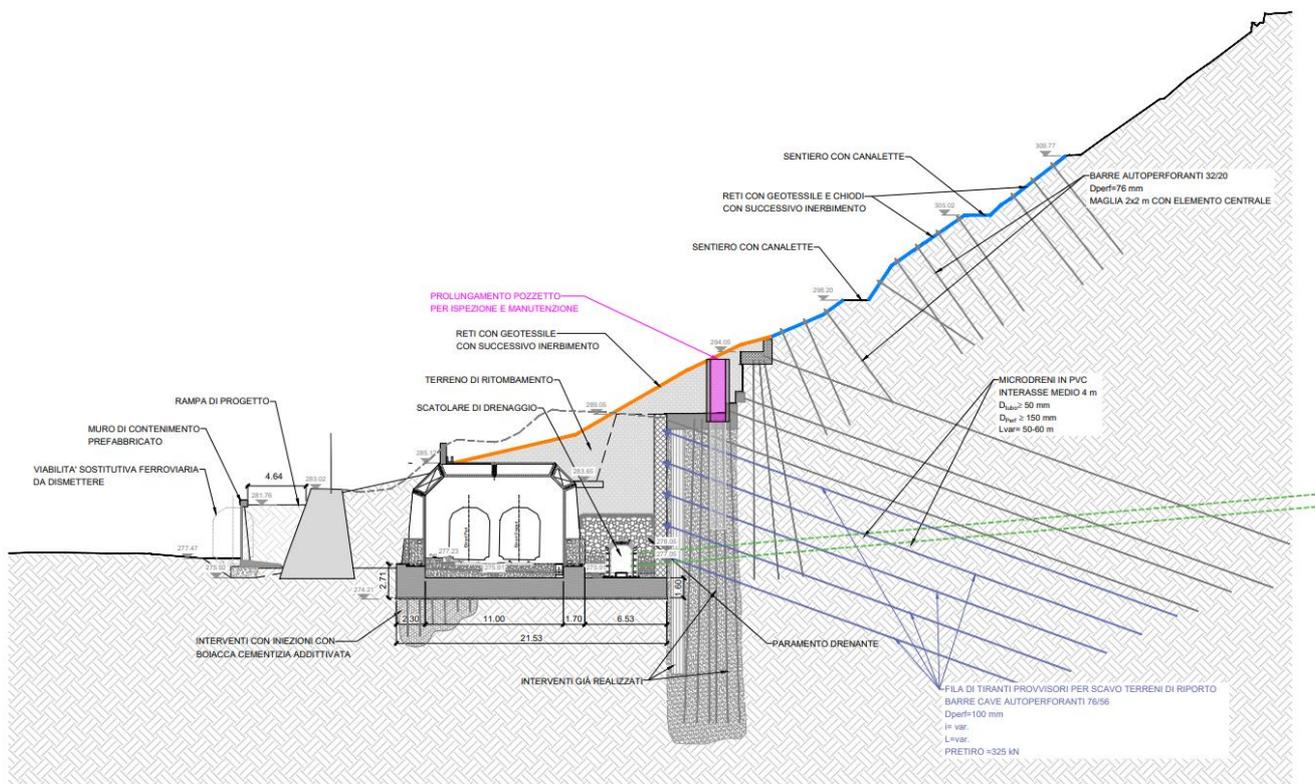


Figura 34 – Stralcio di una sezione di intervento sul muro crollato consolidato.

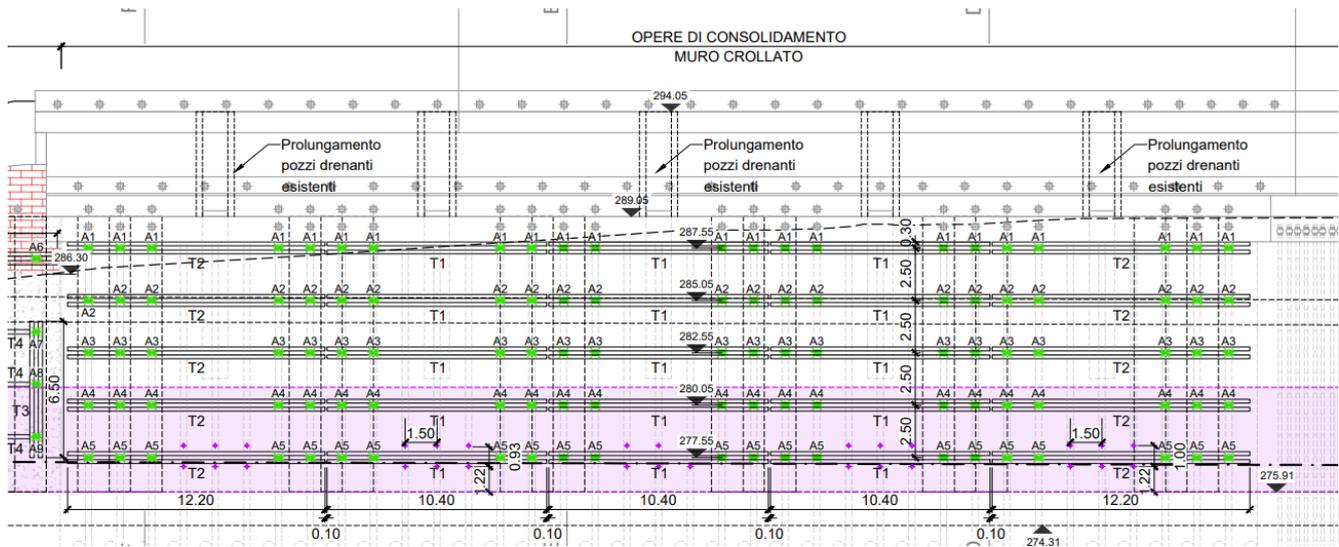


Figura 35 – Stralcio del prospetto degli interventi sul muro crollato consolidato.

## 7.5 Opere di consolidamento sui tratti di muro rimasti in posto

Sul tratto di muro in muratura rimasto in posto lato Ovada compreso tra il settore di muro crollato e il settore di muro già consolidato è stata già realizzata una cortina di micropali collegata in testa da travi in c.a. e tiranti in trefoli.

Al piede del muro risulta ora presente una banca di terreni di riporto, utilizzati per la stabilizzazione provvisoria del versante.

Progressivamente alla rimozione dei terreni di riporto si procederà con dei consolidamenti strutturali del muro consistenti in iniezioni di resine epossidiche con canne a maglia 0.5 x 0.5 m finalizzate al ripristino delle caratteristiche meccaniche delle murature e alla preparazione del piano di posa dei tiranti;

Avanzando con gli scavi di sbancamento dei terreni di riporto saranno realizzate 4 file di ancoraggi provvisori costituiti da barre cave autopercoranti, con diametro di perforazione 100 mm, interasse 2 m, inclinazione di 20° rispetto all'orizzontale e lunghezza totale variabile:

- 1° fila lunghezza totale 33 m;
- 2° fila lunghezza totale 30 m;
- 3° fila lunghezza totale 26 m;
- 4° fila lunghezza totale 22 m.

Gli ancoraggi saranno collegati tramite apposite carpenterie ad un reticolo di travi HEB200: verticalmente lungo gli allineamenti saranno previste 2 travi HEB200, mentre orizzontalmente sugli allineamenti previsti, sarà presente 1 profilo HEB200.

Una volta arrivati alla quota del fondo scavo e realizzata la platea di fondazione saranno realizzate la struttura a sbalzo provvisoria la quale necessiterà la realizzazione di tiranti provvisori apposto per il sostegno della struttura:

- esecuzione di tiranti attivi di 1° fase provvisori con barre Dywidag da 40 mm, diametro di perforazione 100 mm, interasse 2 m, inclinazione di 20° rispetto all'orizzontale e lunghezza 25 m, 10 m di cui per fondazione,

Tali tiranti saranno inglobati all'interno di una soletta in c.a. solidale alla struttura.

Si riportano di seguito degli stralci di una sezione e del prospetto degli interventi.

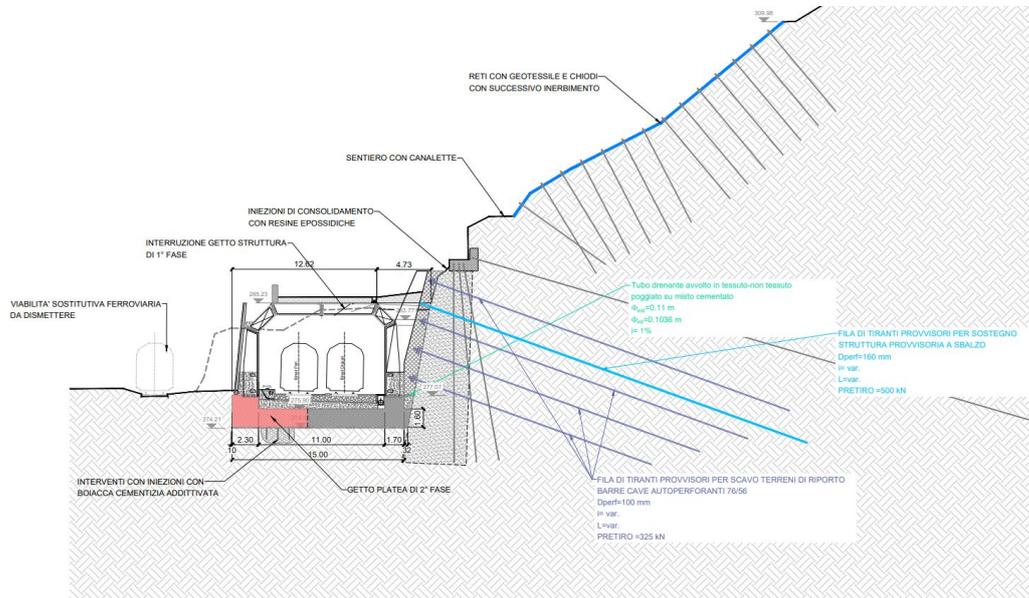


Figura 36 – Stralcio di una sezione di intervento sul muro da consolidare lato Ovada.

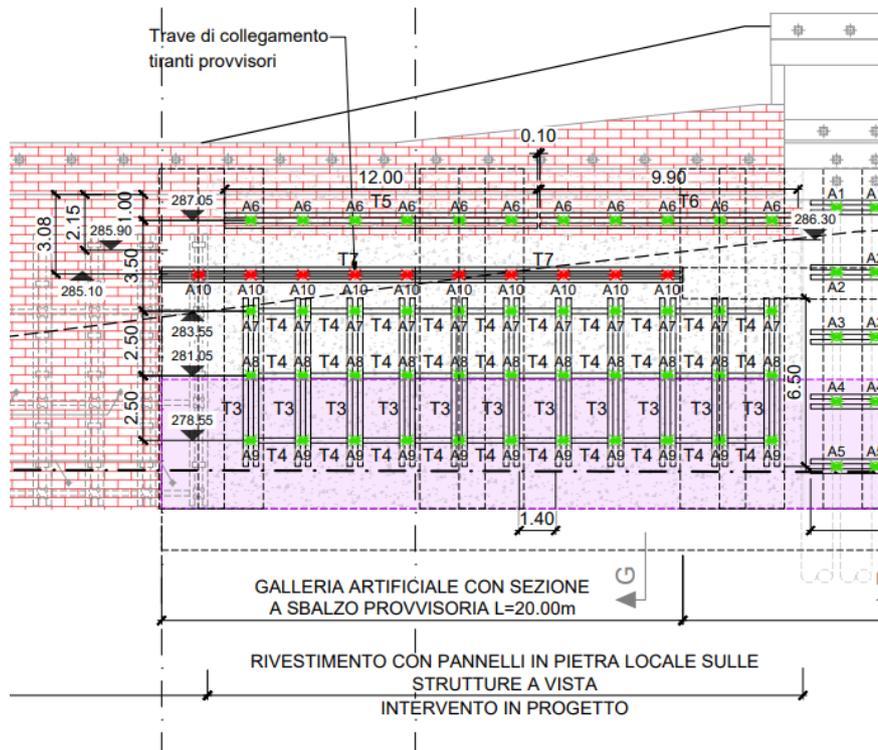


Figura 37 – Stralcio del prospetto degli interventi sul muro da consolidare.

Per quanto riguarda il sistema di smaltimento acque a tergo della struttura si prevede l'inserimento di un tubo drenante avvolto in tessuto-non tessuto posto tra uno spessore variabile di misto cementato a pendenza 1% verso l'imbocco e il contrafforte. Questo elemento dovrà consentire lo sfogo di eventuale acqua infiltrata a tergo, premesso che superiormente tramite la trave in c.a. questa porzione di intervento non sarà direttamente esposta al recapito di acque superficiali, né tantomeno a acque di drenaggio provenienti dai paramenti non potendo essere eventuali interventi ispezionabili.

Sul tratto lato Stazione Mele sarà previsto un intervento simile, ad eccezione dell'assenza dei contrafforti in quanto questa zona risulta già consolidata da precedenti interventi. In questo caso il tubo drenante avrà in adiacenza un materiale granulare al fine di incanalare le acque di filtrazione a tergo della struttura.

Si valuterà inoltre la chiusura di eventuali interventi di drenaggio preesistenti.

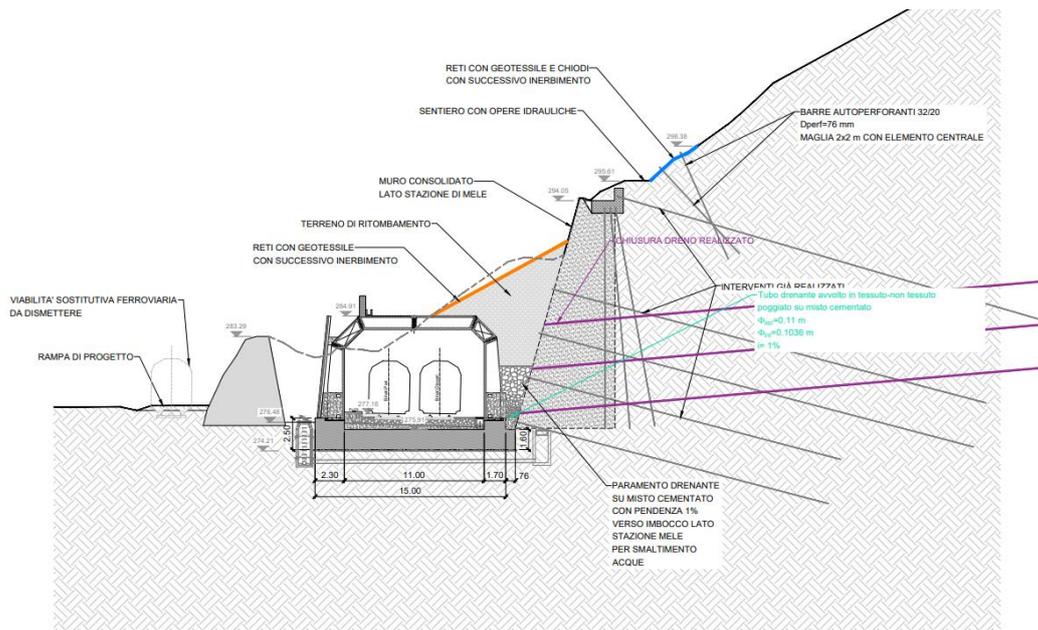


Figura 38 – Stralcio di una sezione di intervento sul muro consolidato lato stazione Mele.

Su entrambi i lati i tubi drenanti saranno poi collegati appositamente, tramite dei pozzetti esterni alla galleria, ai sistemi di recapito acque.

## 7.6 Opere di finitura superficiali sulle strutture a vista

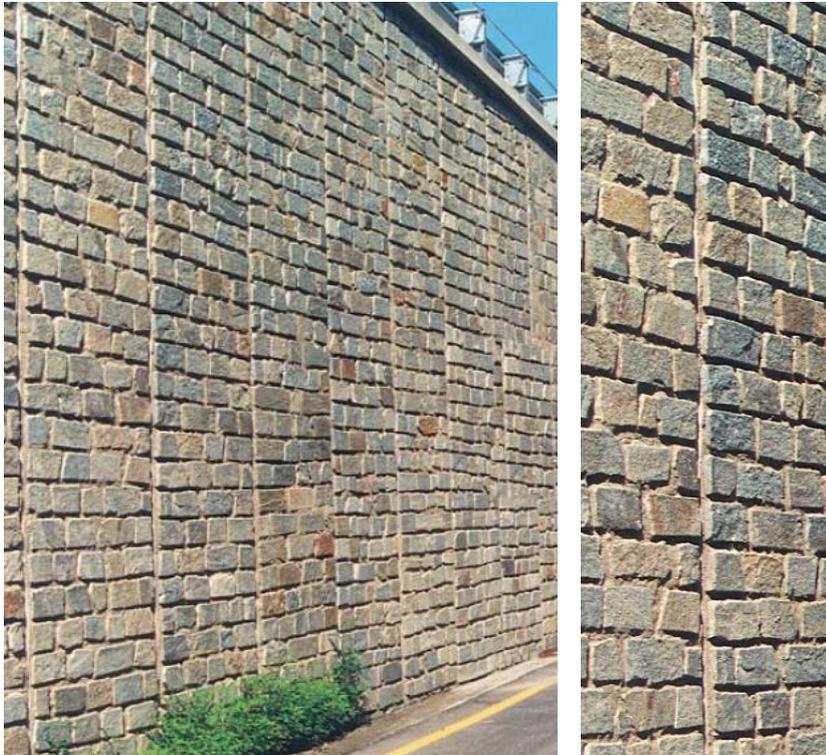
Per ridurre l'impatto ambientale sulle strutture a vista sarà prevista una copertura con dei pannelli a corsi regolari in pietra locale.

Tale intervento sarà previsto per le seguenti strutture:

- Travi in c.a. lasciate a vista a monte delle opere di contenimento;
- Muri in muratura rimasti in posto a seguito della frana, comprensivi sia dei tratti già consolidati che dei tratti da consolidare e lasciati a vista;
- Facciate a vista e imbocchi della galleria artificiale;
- Facciate dei muri di contenimento prefabbricati della rampa di accesso.

La soluzione con pannelli risulta in un aspetto molto gradevole, simile a quello dei muretti di una volta, con una soluzione dunque molto adatta in ambienti di salvaguardato aspetto paesaggistico.

Il procedimento costruttivo garantisce una perfetta aderenza della pietra anche nelle più severe condizioni di impiego. Di seguito si riporta un esempio del tipologico previsto, tipologico congruente soprattutto con le tipologie di pietra muraria delle opere circostanti.



*Figura 39 – Esempio del pannello tipologico in pietra locale.*



*Figura 40 – Muratura delle opere preesistenti.*

## 7.7 Rampa di accesso

Per consentire le lavorazioni inerenti alla realizzazione del paramento drenante, del ritombamento di terreno a tergo della galleria artificiale e di sistemazione definitiva del versante, nonché di ispezione e manutenzione delle strutture e del versante si rende necessaria realizzare una viabilità di accesso a mezzi, operai e tecnici specializzati.

La realizzazione della rampa avverrà al termine delle lavorazioni di installazione della galleria artificiale, a seguito dell'attivazione del tracciato di progetto e della dismissione della viabilità provvisoria attualmente in esercizio. Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico della rampa.

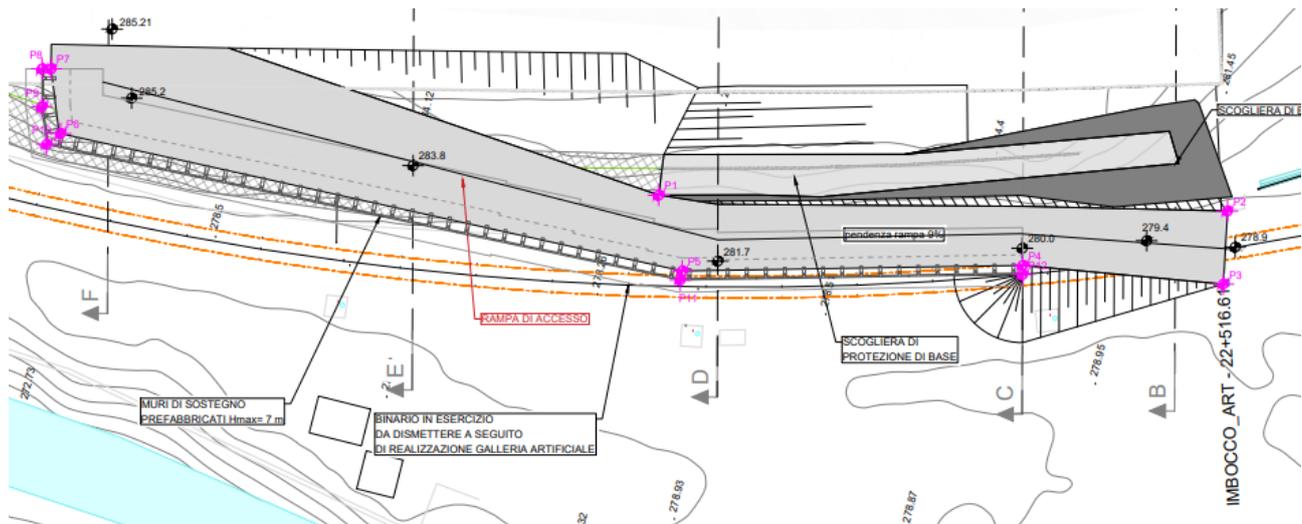


Figura 41 – Stralcio della planimetria di progetto della rampa di accesso.

La rampa coprirà dunque un dislivello pari a circa 6.3 m, compreso tra 278.9 m s.l.m. e la quota di testa della galleria pari a 285.21 m s.l.m., con una livelletta longitudinale di circa 8-9%.

Per la sua realizzazione ci si avvarrà parzialmente del sostegno della scogliera di protezione presente alla base del versante sul lato della galleria artificiale per un primo tratto di circa 40 m.

Per quanto riguarda il sostegno della viabilità lato valle il raccordo col piano campagna presente avverrà naturalmente con una pendenza 3H/2V fino ad una quota di circa 3 m rispetto al piano campagna.

Al fine di limitare gli ingombri planimetrici, per le altezze dal piano campagna superiore a 3 m e per il raccordo geometrico interno tra la rampa e la galleria artificiale nel tratto dove la scogliera risulta essere demolita si utilizzeranno delle opere di contenimento prefabbricate ad altezza variabile fino alla quota di testa della galleria artificiale.

Tali opere di contenimento consistono in muri di sostegno prefabbricato prodotti in stabilimento e dotati di marcatura "CE". Risultano costituiti da pannelli verticali prefabbricati in cemento armato vibrato e da una platea in cemento armato gettata in opera; i pannelli prefabbricati hanno resistenza caratteristica C35/45, cemento Portland CEM I e sono provvisti dalla parte della terra di una costola di irrigidimento estesa dalla base alla cima; i muri sono posati in opera su un cordolo di fondazione precedentemente preparato; la platea in cemento armato ha resistenza caratteristica C25/30, è posizionata sotto al terrapieno e ingloba le armature fuoriuscenti dal pannello.

Le opere previste avranno dunque un'altezza fuori terra variabile tra 3 m e 6.5 m.

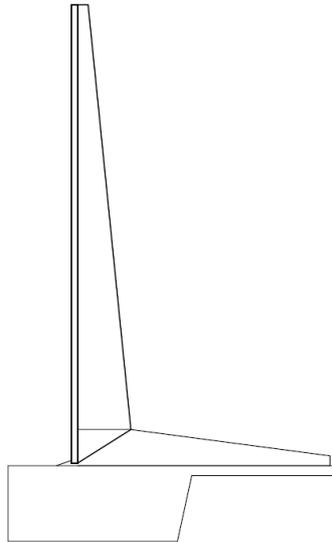


Figura 42 – Sezione tipo dei muri prefabbricati.

## 7.8 Sistemazione definitiva del versante con ricoprimento di terreno e rafforzamenti corticali

Per la sistemazione definitiva del versante è previsto il ritombamento di terreno della zona direttamente al di sopra delle opere in c.a. già realizzate.

Tale ricoprimento, effettuato a seguito della realizzazione del paramento drenante e del ritombamento fino a circa la quota di testa della galleria artificiale, raccorderà dunque la copertura della galleria artificiale col versante presente al di sopra delle opere in c.a.

Su tale tratto sarà quindi previsto un intervento di rafforzamento corticale con reti e geotessile al fine di garantire una stabilizzazione corticale con finalità principale antiersiva.

Al di sopra delle opere di contenimento e delle rispettive opere in c.a. di testa sarà previsto invece un intervento di rafforzamento corticale completo con reti, geotessile e barre di ancoraggio autoperforanti.

Le barre autoperforanti avranno perforazione da 76 mm, diametro esterno/interno 32/20 mm, lunghezza pari a 9 m e maglia 2x2 con elemento centrale.

Si riporta di seguito una sezione tipologica dell'intervento previsto.

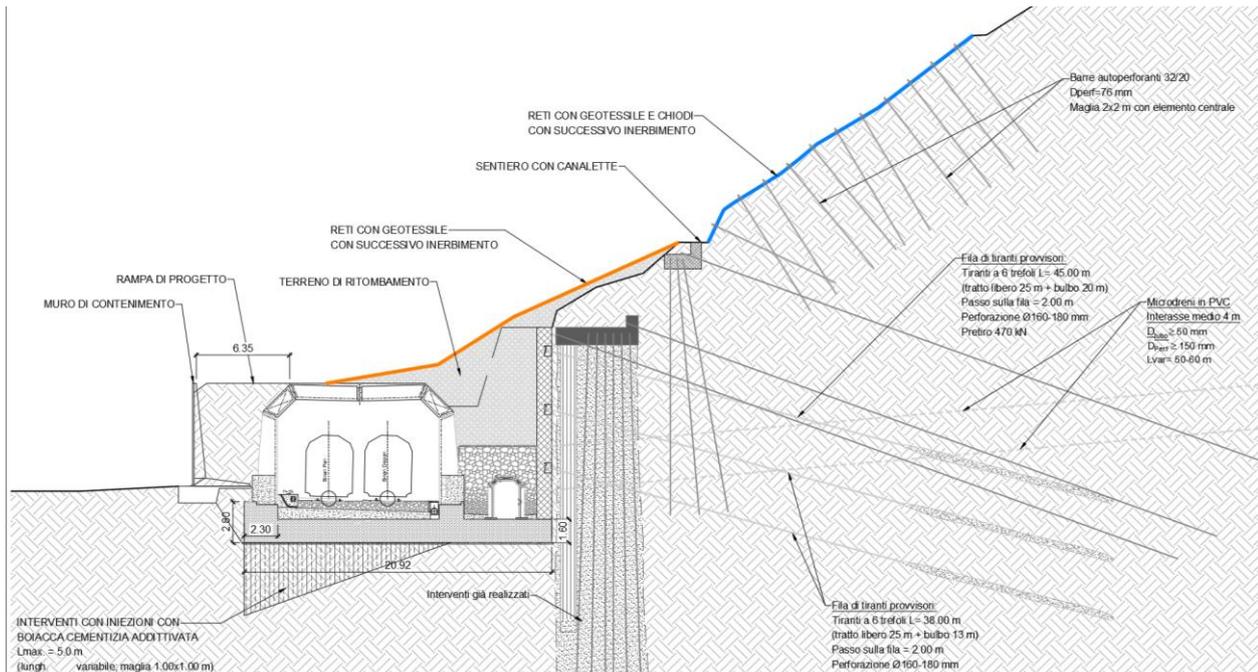


Figura 43 – Sezione tipo dell'intervento di sistemazione definitiva del versante.

Lungo la scarpata saranno previste delle apposite opere idrauliche di regimentazione delle acque di superficie. Al termine del completamento dei rafforzamenti sarà inoltre previsto il rinverdimento della scarpata tramite idrosemina su tutta la sua estensione. Si riporta un esempio tipologico dei risultati previsto per la lavorazione.



Figura 44 – Foto di intervento di rinverdimento di una scarpata con idrosemina.

## 7.9 Nuovo tracciato ferroviario di progetto

Per il ripristino della porzione di tracciato interessato direttamente dai fenomeni gravitativi, in accordo con le normative attualmente vigenti, è stato realizzato un nuovo tracciato di progetto.

L'attuale tracciato, presente all'interno della galleria del Turchino, ha un'intervista pari a 2.12m (interasse pari a 3.555m) mentre nel tracciato di nuova costruzione viene imposta un'intervista di valore pari 2.565m e di conseguenza un interasse tra i binari pari a 4.00m. L'intervento di ripristino dell'armamento ferroviario non può assolutamente essere uguale a quello antecedente la frana in quanto la presenza della galleria artificiale ed i vincoli dimensionali da rispettare per le opere d'arte, impongono un tracciato un po' diverso da quello originario. Nonostante ciò, l'andamento piano - altimetrico del tracciato ferroviario proposto in questa progettazione, si differenzia molto poco da quello antecedente la frana, rispettando praticamente le stesse caratteristiche in termini di pendenza longitudinale e di sopraelevazione soprattutto in corrispondenza del fabbricato di stazione.

Ai fini delle verifiche di tracciato sono state adottate e certificate le sagome PMO3, PMO2, PMO5, PMO ETR 521/ETR 421 (c.d. "Rock") e PC45 per il tratto in nuova Galleria artificiale. PMO2, PMO ETR 521/ETR 421 (c.d. "Rock") e PC45 in Galleria Turchino.

Si specifica comunque che la sagoma progettuale di intradosso della galleria presenta delle dimensioni maggiori rispetto agli standard previsti allo scopo di:

- ottenere una più efficace distribuzione delle sollecitazioni provenienti dai contrafforti;
- per garantire un migliore raccordo geometrico tra il terreno sopra e a tergo della galleria e il profilo topografico del versante di monte;
- per ridurre la pendenze della scarpata soprastante la galleria e di conseguenza l'azione di spinta delle terre sulla struttura.

## 8 Bonifiche ordigni bellici

Per quanto riguarda le operazioni propedeutiche alla realizzazione degli scavi, sono previsti degli interventi finalizzati ad indagare l'eventuale presenza di ordigni bellici presenti in loco.

Essendo stata l'area di progetto una zona strategica interessata da bombardamenti ed operazioni militari della Seconda guerra mondiale, le operazioni di bonifica saranno suddivise su due macrotipologie di indagine:

- Bonifica dei terreni di riporto presenti alla base del versante;
- Bonifica dei terreni al di sotto del piano campagna originale pre-frana.

Nel primo caso tali indagini hanno la finalità di ricercare eventuali ordigni inesplosi trasportati dai movimenti franosi della scarpata e depositati alla base.

Tale zona è stata già oggetto di lavorazioni passate per la realizzazione degli interventi di messa in sicurezza, ma cautelativamente si procederà con delle indagini ferromagnetiche ad ogni abbassamento di quota di circa 1 m a partire dal piano superiore della banca di terreno presente.

Per quanto riguarda la bonifica dei terreni al di sotto del piano campagna pre-frana si applicheranno le metodologie e prescrizioni dettate dal Genio Militare.

In considerazione delle opere previste, si distinguono le seguenti diverse tipologie di bonifica:

- taglio della vegetazione erbacea ed arbustiva che dovesse ostacolare la corretta esecuzione della bonifica;
- bonifica di superficie, da ordigni residuati bellici, fino a m 1,00 di profondità dal piano campagna, delle aree interessate dai lavori di ogni tipo, comprese quelle di cantiere e di piste di servizio;
- bonifica profonda secondo profondità variabili da piano campagna con garanzia di m 1.00.

Per i contenuti specifici si faccia riferimento agli elaborati specialistici dedicati.

### 8.1 Taglio della vegetazione

Ove necessario, prima di procedere alla ricerca degli ordigni bellici, si dovrà procedere al taglio della vegetazione. Il taglio della vegetazione dovrà essere eseguito in tutte quelle zone ove la presenza della stessa ostacoli l'uso dell'apparecchio cercamine e sarà effettuato da operai qualificati sotto il controllo di un rastrellatore.

Nel tagliare la vegetazione non dovranno essere esercitate pressioni sul terreno da bonificare e dovranno essere rispettate tutte le eventuali piante di alto fusto e tutte le "matricine" da lasciare in zona, salvo diverse disposizioni.

Il materiale di risulta verrà accatastato in zona già bonificata e successivamente trasportato a rifiuto.

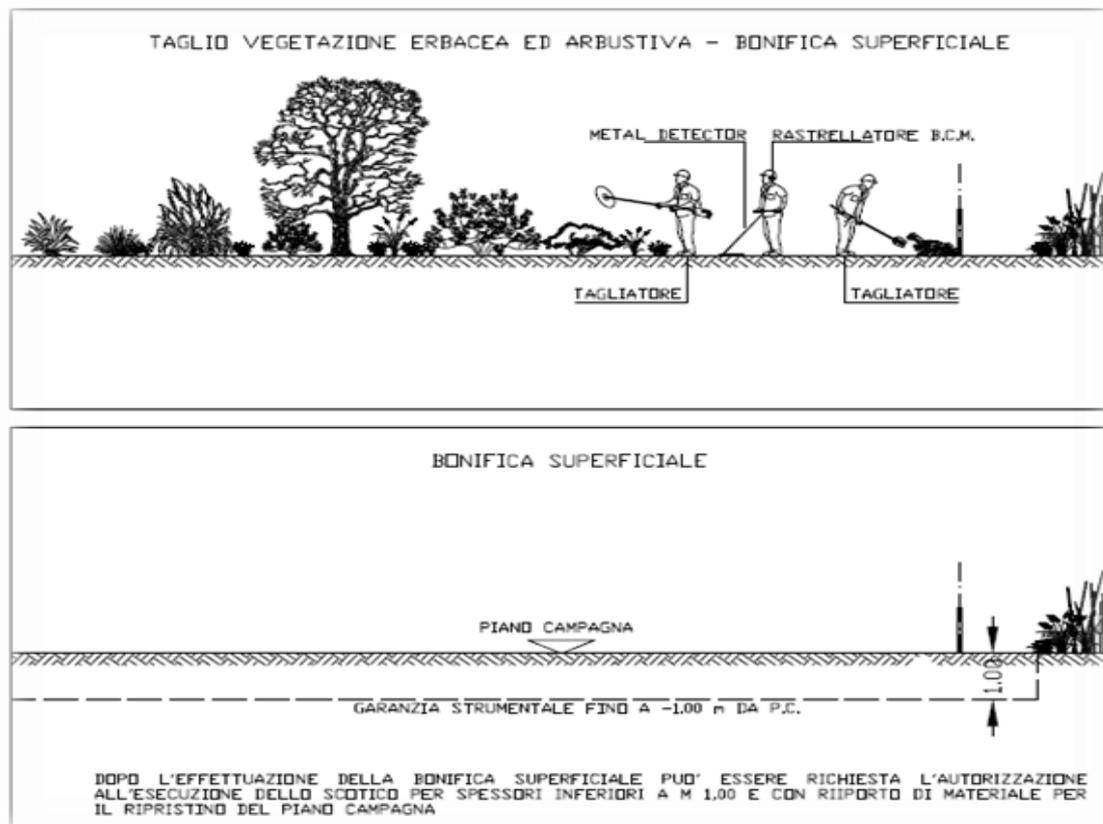


Figura 45 – Schema generale di taglio della vegetazione per bonifica superficiale.

## 8.2 Bonifica superficiale

La bonifica di superficie è prevista, come da norme emanate dalle Autorità Militari, su tutte le aree di cantiere. Il lavoro consiste nella ricerca, localizzazione ed eliminazione di tutte le masse ferrose e di tutti gli ordigni e manufatti bellici esistenti fino a m 1,00 di profondità dal piano di campagna originario. Tale bonifica di superficie è propedeutica a qualsiasi bonifica profonda. Le zone da esplorare vengono suddivise in campi e successivamente in strisce, che vengono esplorate con appositi apparati rilevatori di profondità (metaldetector). Tale bonifica comprende lo scoprimento, l'esame e la rimozione di tutti i corpi e gli ordigni segnalati dall'apparato e presenti fino alla profondità di m 1,00.

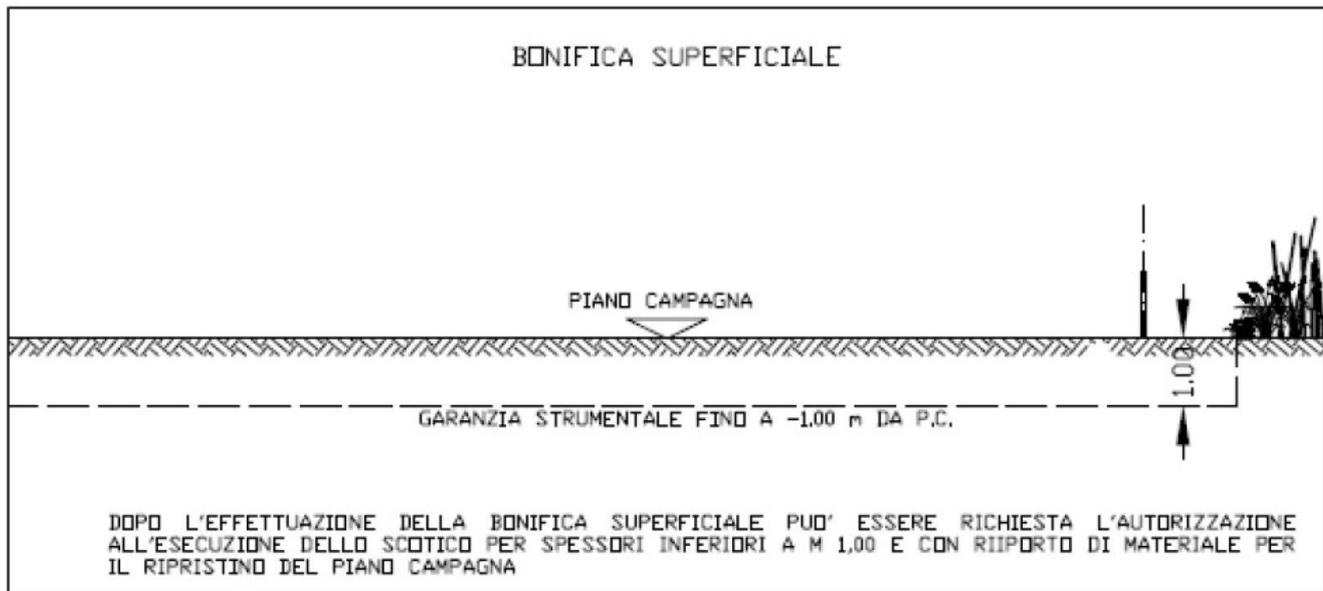


Figura 46 – Schema di realizzazione Bonifica superficiale.

### 8.3 Bonifica profonda

La bonifica in profondità è indispensabile nei casi in cui si verificano movimentazioni di terreno oltre la quota stabilita per la bonifica in superficie e quindi inferiormente a m 1,00 di profondità dal piano di campagna e dove si esegue la compattazione dei rilevati o la realizzazione di opere a carattere permanente. Questo tipo di bonifica viene applicato fino ad una profondità variabile che va solitamente da 2,00 a 7,00 m dal piano di campagna originario. La bonifica in profondità, previa bonifica superficiale, viene effettuata suddividendo le aree d'interesse in quadrati aventi il lato pari a m. 2,80, al centro dei quali, tramite trivellazione non a percussione, vengono praticati dei fori capaci di contenere la sonda dell'apparato rilevatore. Per impedire ingressi indesiderati, l'area di lavoro viene recintata. Come riportato sulla "Direttiva Tecnica Bonifica Bellica Sistemica Terrestre 2017 – Parte II – par. 2.3.1.8" relativamente la bonifica profonda a 5.00-7.00 m è prevista su tutta l'area di intervento in quanto interessata dal movimento dei mezzi meccanici.

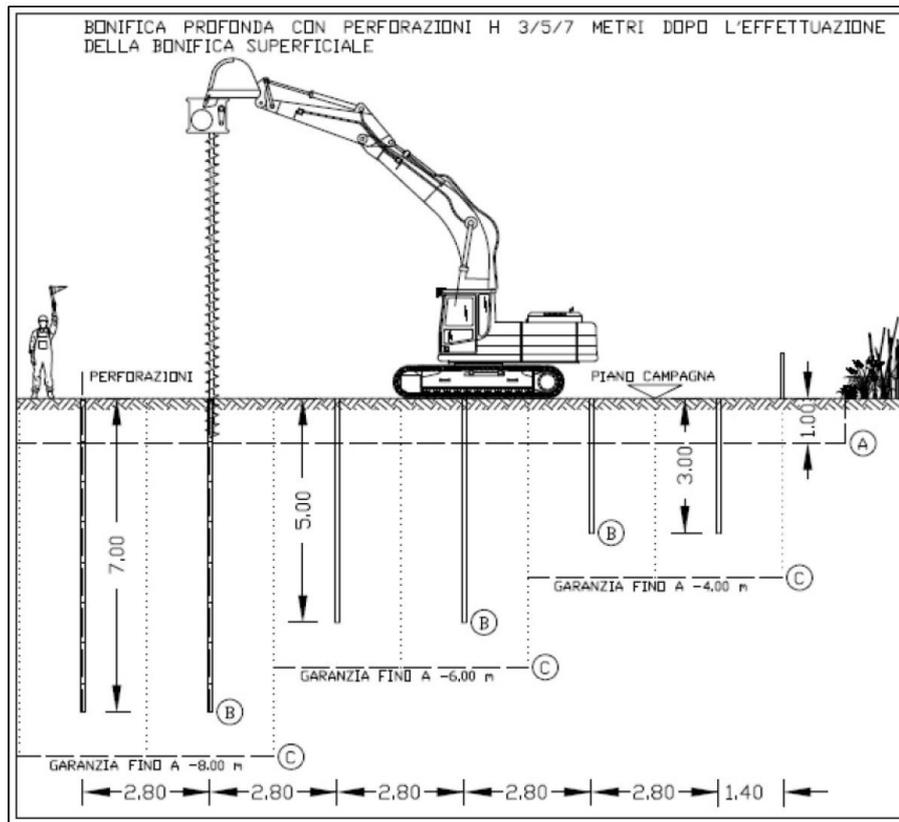


Figura 47 – Schema di realizzazione Bonifica di profondità

## 8.4 Aree di intervento

Di seguito, visto che gli scavi saranno profondi circa 2-3 ml, i consolidamenti circa 3ml oltre lo scavo e i micropali una profondità superiore ai 7ml, si illustrano le tipologie adottate per gli interventi previsti in progetto. Complessivamente le superfici da assoggettare a bonifica risultano:

### BONIFICA BELLICA

Bonifica superficiale mq 9.800

Bonifica profonda (5 ml) n. 427 – mq 3335

Bonifica profonda (7 ml) n. 10 – mq 72

Bonifica profonda (7 ml) attraversamento ferrovie o strade n. 6 – mq 47

La bonifica profonda avrà inizio dal piano ferro ante frana, quindi solo dopo la rimozione del vecchio armamento.

## 9 Demolizioni

Per la realizzazione delle opere in progetto, sarà richiesta la demolizione parziale o totale di alcuni elementi interferenti con le lavorazioni e le opere.

Inerentemente alla scogliera di protezione di base, essendo interferente con gli scavi delle fondazioni della struttura a sbalzo, sarà necessaria una prima demolizione continua per un tratto di circa 25 m.

Localmente, laddove il paramento interno lato monte dovesse risultare interferente con i rimanenti scavi si valuterà il taglio parziale del manufatto per consentire le lavorazioni.

Successivamente alla realizzazione della galleria, per la realizzazione della rampa e delle fondazione dei muri prefabbricati, sarà necessario la demolizione continua della scogliera per un ulteriore tratto di circa 40 m.

Oltre alle demolizioni prima descritte, saranno inoltre demolite o dismesse le strutture a servizio dell'attuale linea in esercizio, nonché l'armamento della stessa.

## 10 Monitoraggi

Per il monitoraggio delle lavorazioni sarà previsto un monitoraggio topografico al fine di verificare il rispetto delle ipotesi progettuali e garantire i lavori in totale sicurezza.

Per quanto riguarda invece il monitoraggio del versante, si riporta di seguito una sintesi dei sistemi pregressi, evidenziandone la fondamentale importanza, anche in ottica presente, anche al fine di valutare eventuali nuovi sistemi di monitoraggio.

I contenuti del sistema di monitoraggio al momento previsti saranno invece indicati su apposita documentazione.

### 10.1 Sintesi monitoraggi pregressi

A seguito delle manifestazioni eclatanti del dissesto, osservate nel Dicembre 2000, fu condotta da RFI una prima campagna geognostica, articolata su due fasi consecutive, nell'ambito della quale fu tra l'altro implementato un articolato sistema per il monitoraggio geotecnico del fenomeno franoso.

In particolare, fu implementato un sistema di monitoraggio superficiale e di profondità per valutare l'evoluzione dei processi deformativi a carico del versante a monte del tracciato ferroviario, durante le fasi eclatanti del dissesto.

Il sistema fu concepito con duplice finalità:

- Controllo del processo evolutivo del versante e delle condizioni di pericolo indotte al sottostante tracciato ferroviario;
- Definizione della geometria e dei caratteri del dissesto in atto.

L'installazione del sistema avvenne per fasi successive, in ragione delle difficoltà logistiche connesse al reperimento della strumentazione in condizioni di urgenza, consentendo di mantenere il massimo grado di controllo possibile a carico del versante. Vista l'entità e la velocità del fenomeno durante le fasi evolutive eclatanti, il sistema di monitoraggio venne considerato come primo significativo *"intervento di sistemazione"*, la cui utilità fu confermata dalla capacità di prevedere con sufficiente grado di sicurezza il collasso del versante, consentendo l'interruzione della circolazione ferroviaria.

Successivamente al collasso del versante il sistema di monitoraggio fu integrato allo scopo di indagare il settore a monte del dissesto, ed alcune porzioni del corpo di frana prima non accessibili.

Le risultanze del monitoraggio, sinteticamente descritte nel seguito unitamente ad una breve descrizione del sistema all'epoca implementato, consentirono la definizione delle caratteristiche del dissesto con individuazione della superficie di scorrimento lungo la quale questo si sviluppò, indispensabili per la definizione dei primi interventi di stabilizzazione.

Per la porzione basale questi consistettero nella realizzazione di una complessa opera di contenimento costituita da pali trivellati in c.a. ( $\varnothing$  1200), per taluni settori micropali, colonne di terreno consolidato mediante jet grouting e tiranti di ancoraggio del tipo attivo a trefoli in acciaio armonico.

In tale occasione, allo scopo di indagare da una parte il comportamento delle strutture di contenimento e dall'altro l'effetto stabilizzante delle medesime nei confronti del fenomeno, fu implementato un sistema di monitoraggio delle strutture attraverso installazione di colonne inclinometriche inglobate all'interno dei pali e celle di carico in corrispondenza degli elementi di testata dei tiranti.

Nella prima fase della campagna di indagini, tra il Novembre 2000 ed il Gennaio 2001, è stata prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- n° 7 fessurimetri a lettura manuale sulla vecchia struttura di contenimento di sottoscarpa ANAS. La struttura risultava collocata nella parte mediana del corpo di frana ed interagente con lo stesso; il controllo delle principali ed evidenti fratture del manufatto ha consentito una prima valutazione diretta del grado di attività del dissesto.
- n° 17 caposaldi topografici, sul muro ANAS, lungo il pendio e sul muro RFI, da leggersi da una base di lettura fissa posizionata sul versante opposto. Il sistema topografico è risultato il più affidabile e rapido

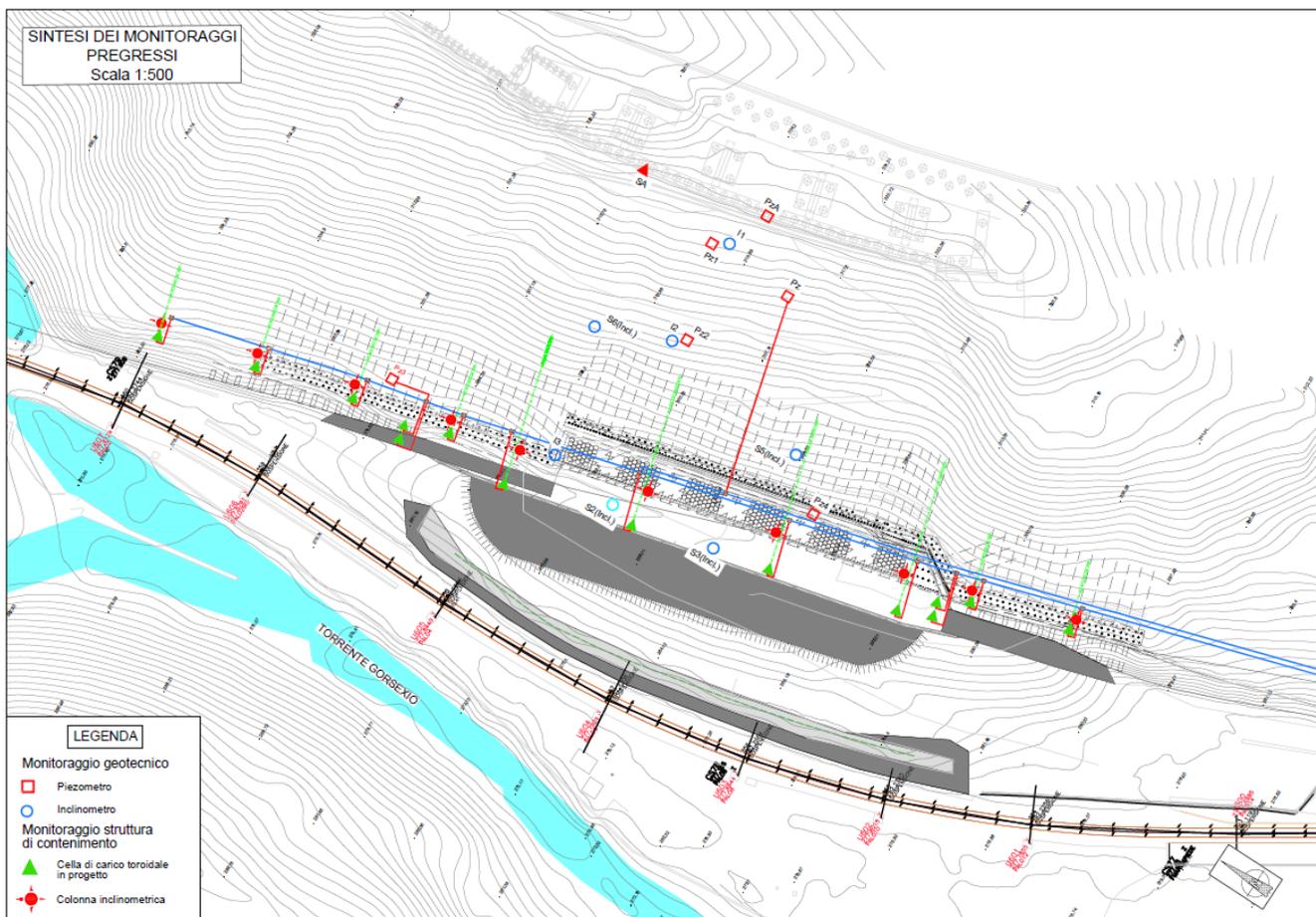
per misurare gli spostamenti superficiali assoluti del versante, e, dopo un periodo di definizione dell'errore insito nel sistema, ha consentito di valutare il diverso grado di deformazione dei diversi settori di pendio.

- n° 4 fessurimetri elettrici sulla struttura di contenimento di sottoscarpa ANAS, con acquisizione automatica dei dati mediante centralina collegata "on line" alla sede RFI di Genova. Il sistema ha consentito di sostituire le letture manuali sulle basi di misura; l'analisi dei dati osservati e le correlazioni con le misure sul versante hanno permesso di individuare valori soglia adottati per la rapida valutazione della possibilità di circolazione del traffico ferroviario. Ai fessurimetri si è accompagnata l'installazione di un termometro per la stima degli errori indotti sulle letture dalle escursioni termiche.
- n° 3 inclinometri lungo la sezione più gravosa individuata lungo il versante, per la valutazione delle deformazioni profonde e l'individuazione della superficie di scorrimento del dissesto.
- n° 4 piezometri a tubo aperto, prevalentemente in affiancamento agli inclinometri, per la valutazione delle escursioni della falda in funzione delle precipitazioni e la correlazione con le possibili deformazioni del versante.

Le letture sistematiche sulla strumentazione installata hanno consentito di prevedere con sufficiente grado di sicurezza il collasso del versante, permettendo la chiusura preventiva della percorrenza ferroviaria.

Successivamente al crollo della struttura è stata prevista da una seconda fase della campagna di indagini geognostiche, con installazione di strumentazione di monitoraggio, integrata tra ANAS ed RFI, con lo scopo di indagare il settore a monte del dissesto (ANAS), alcune porzioni del corpo di frana non accessibili in precedenza ed il settore lungo l'asse ed a valle della struttura di sostegno crollata (RFI); tale campagna è stata completata alla fine del Luglio 2001. La campagna a carico di RFI è consistita nell'installazione di:

- n° 4 inclinometri in corrispondenza della porzione medio basale del settore di versante in esame, per la valutazione delle deformazioni profonde e l'individuazione della superficie di scorrimento del dissesto.



Va inoltre segnalata la presenza di un pluviometro dell'“Ufficio Idrografico e Mareografico di Genova”, collocato in corrispondenza della Stazione Ferroviaria di Mele, le cui letture sono state utilizzate per correlare le deformazioni del versante all'entità delle precipitazioni manifestate.

A tali strumentazioni si aggiunge un sistema di monitoraggio geotecnico della falda e delle deformazioni profonde, relativo alla porzione superiore del versante, compresa tra la “Strada del Turchino” e l'Autostrada, messo in opera dalla all'ora “Comunità Montana Argentea”, del quale non sono state rese note le caratteristiche di dettaglio.

Come esposto sopra, la strumentazione di monitoraggio pregressa, di prima e seconda fase è stata installata e gestita in seguito alle evidenze della prima significativa riattivazione del dissesto (Novembre 2000).

L'analisi dei dati rilevati ha permesso di sintetizzare quanto segue:

- È evidente un sostanziale accordo dei risultati evidenziati dalle differenti strumentazioni installate;
- L'analisi dell'andamento di precipitazioni e misure di spostamento del corpo frana nel periodo di monitoraggio del movimento ha consentito di definire una diretta correlazione tra tali grandezze, permettendo di ricondurre l'innesco del fenomeno all'evento meteorico dell'inizio del mese di Novembre;
- Sono state individuate tre fasi di significativa accelerazione del dissesto, in occasione dei periodi di precipitazione del 7-8 dicembre 2000 (fase a), del 3-6 gennaio 2001 (fase b) e del 22 – 24 gennaio 2001 (fase c), con conseguente crollo della struttura;
- Il confronto tra i dati quantitativi di precipitazione derivati dal pluviometro presente entro la stazione RFI di Mele e l'andamento temporale degli spostamenti indica che i periodi di accelerazione del dissesto si sono protratti per alcuni giorni oltre la fine dell'evento meteorico;
- La progressiva accelerazione degli spostamenti ha indotto significative deformazioni a carico della muratura di controripa RFI, in special modo a partire dall'evento del 3 – 6 gennaio 2001, sino al crollo manifestatosi il 26 gennaio 2001.

In questa fase è opportuno ricordare come le misure eseguite sugli inclinometri durante le fasi di evoluzione del dissesto abbiano consentito una precisa individuazione della superficie di scivolamento entro il versante, collocata a circa 13,5 m - 14,5 m dal pregresso p.c.. Gli spostamenti giornalieri rilevati sono stati inizialmente inferiori al centimetro, e successivamente incrementati a circa 2 – 3 cm, sino al tranciamento dei tubi inclinometrici avvenuto il giorno 6 gennaio 2001, con valori di deformazione relativa in corrispondenza della superficie di scorrimento superiori ai 12 cm. Diverso comportamento ha subito l'inclinometro I3, posto immediatamente a ridosso della muratura e soggetto ad una progressiva flessione del settore di colonna oltre il substrato alterato, in accordo con il comportamento del paramento del muro, sino al collasso dello stesso.

I rilevamenti manuali eseguiti sui piezometri hanno invece mostrato modeste escursioni del livello della falda, mediamente contenute entro il metro, correlabili comunque ai periodi di precipitazione atmosferica.

## 10.2 Sistema di monitoraggio struttura di contenimento

Contestualmente alla realizzazione degli interventi di sistemazione di prima fase, è stata prevista l'installazione di strumentazione di monitoraggio, finalizzata alla valutazione del comportamento nel tempo delle strutture realizzate.

Nel dettaglio, è stata prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- n° 10 inclinometri, in corrispondenza di micropali o pali di grande diametro costituenti rispettivamente le strutture di consolidamento laterali, sulle murature conservate, e la struttura centrale, in corrispondenza del settore crollato.
- n° 10 celle di carico toroidali, sui tiranti di ancoraggio delle strutture di consolidamento laterali, in corrispondenza delle murature conservate, e sulla struttura centrale, in corrispondenza della porzione di muratura crollata.

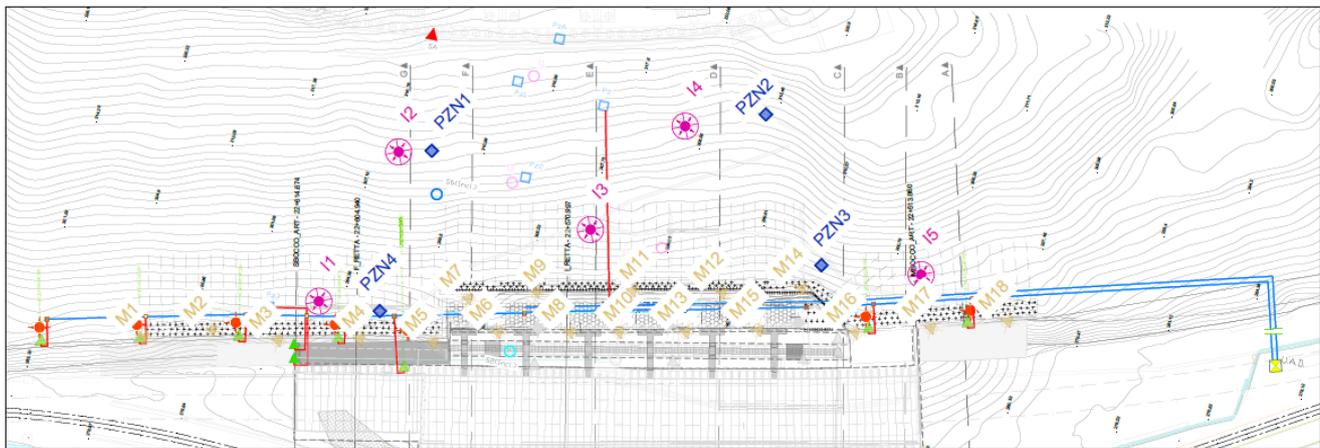
Sebbene l'installazione della suddetta strumentazione avvenne contestualmente alla realizzazione degli interventi non è stato ad oggi possibile reperire alcuna informazione circa il funzionamento e le risultanze della medesima; al riguardo **si evidenzia l'opportunità, previa verifica della fruibilità/funzionalità della strumentazione installata, ed in particolar modo delle colonne inclinometriche, di una riqualificazione del sistema che potrebbe potenzialmente fornire importanti indicazioni circa il comportamento della struttura durante le successive fasi di realizzazione degli interventi di stabilizzazione definitiva del versante ed in esercizio.**

### 10.3 Nuova strumentazione di monitoraggio di progetto

Si riporta di seguito la descrizione della strumentazione di nuova installazione prevista in progetto:

- n° **18 mire ottiche** sulla testa delle opere di contenimento a passo 10 m per il monitoraggio delle fasi di scavo tramite stazione totale;
- n° **5 inclinometri** di profondità 30 m lungo il versante, per la valutazione delle deformazioni profonde e l'individuazione della superficie di scorrimento del dissesto in condizioni definitive. Gli inclinometri, secondo la logistica disponibile, dovranno essere monitorati topograficamente al fine di poter verificare eventuali meccanismi cinematici globali non riscontrati dagli inclinometri;
- n° **4 piezometri a tubo aperto di profondità 30 m**, prevalentemente in affiancamento agli inclinometri, per la valutazione delle escursioni della falda in funzione delle precipitazioni e la correlazione con le possibili deformazioni del versante.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dell'ubicazione della strumentazione. Per un maggiore livello di dettaglio si prega di far riferimento all'allegato specifico.



LEGENDA STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO	
STRUMENTAZIONE PREGRESSA	NUOVA STRUMENTAZIONE
 <b>Inclinometro pregresso da mantenere in monitoraggio</b> previa controllo da stato di consistenza	 <b>Piezometro a tubo aperto da 30 m</b>
 <b>Colonna inclinometrica pregresso da mantenere in</b> monitoraggio previa controllo da stato di consistenza	 <b>Nuovo inclinometro di progetto da 30 m</b>
 <b>Inclinometro presente da smettere</b>	 <b>Mira ottica per monitoraggio delle opere di</b> contenimento durante le fasi di scavo
 <b>Inclinometro presente da smettere</b>	 <b>Nuova cella di carico toroidale</b>
 <b>Cella di carico pregressa da mantenere in</b> monitoraggio previa controllo da stato di consistenza	
 <b>Cella di carico pregressa da smettere</b>	
 <b>Piezometro pregresso da mantenere in monitoraggio</b> previa controllo da stato di consistenza	
 <b>Piezometro pregresso da smettere</b>	

Figura 48 – Stralcio planimetrico della nuova strumentazione di monitoraggio di progetto.

## 11 Fasi Realizzative

Al fine di consentire la realizzazione delle opere di progetto nell'ottica di minor impatto sull'esercizio della linea, saranno previste le seguenti macrofasi lavorative.

### Fase 0

- Allestimento del cantiere;
- Viabilità transitoria post-frana in esercizio.

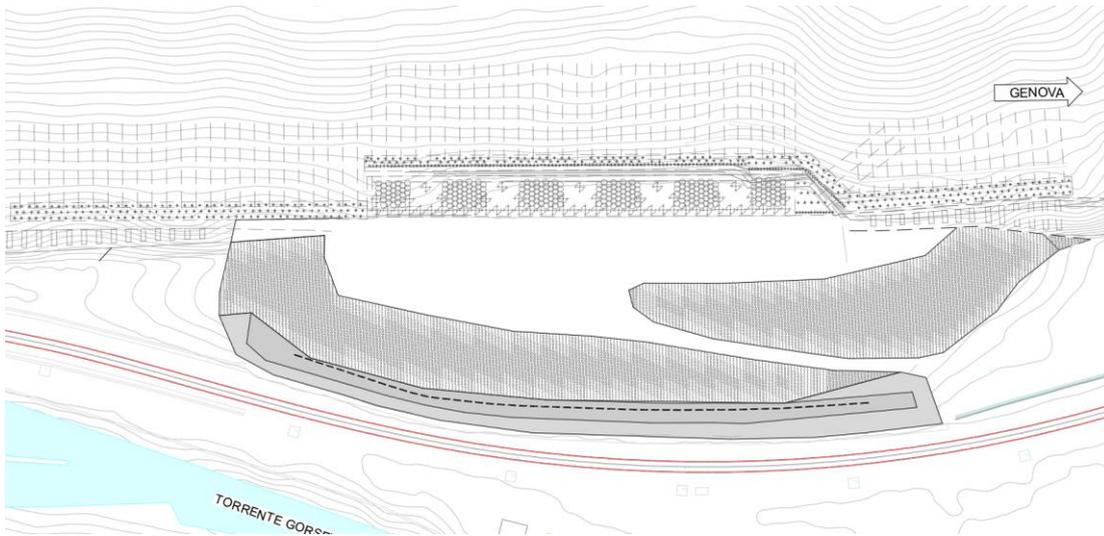


Figura 49 – Stralcio planimetrico inerente alla fase 0.

### Fase 1

- Realizzazione degli scavi di sbancamento dei terreni di riporto fino alla quota del p.c. iniziale con prove ferromagnetiche ogni 1 m in interruzioni in IPO;
- Esecuzione degli scavi propedeutici alla realizzazione delle strutture di 1° fase con conseguente bonifica da ordigni bellici a partire della quota del p.c. pre-frana.
- Realizzazione progressiva delle iniezioni di consolidamento delle murature, degli ancoraggi provvisori di consolidamento delle opere di contenimento, dei microdreni sulle opere di contenimento in interruzioni in IPO;
- Realizzazione delle opere provvisionali in interruzioni IPO;
- Demolizione parziale della scogliera in interruzioni IPO.

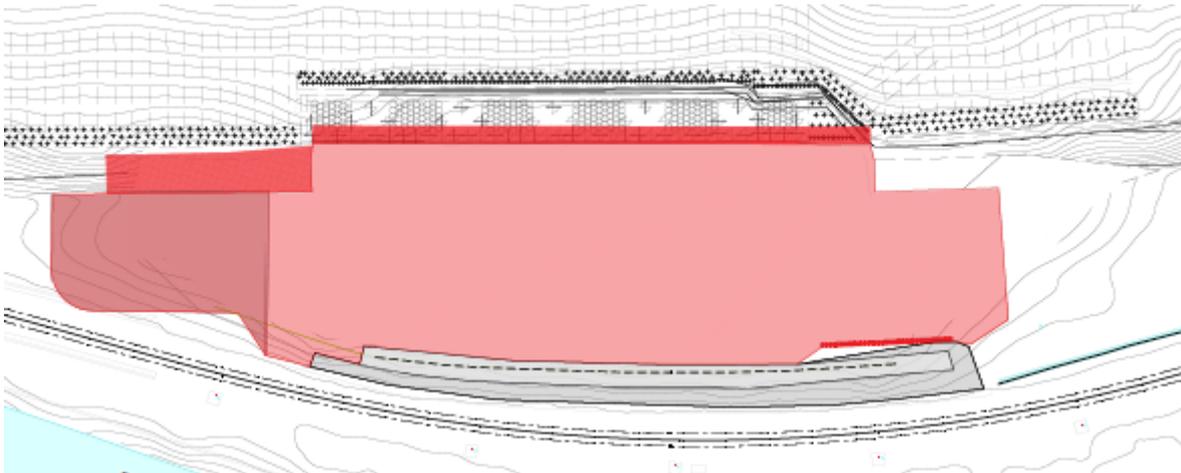


Figura 50 – Stralcio planimetrico inerente alla fase 1.

### Fase 2

- Realizzazione dei consolidamenti dei terreni tramite iniezioni di boiacche additate con resine;
- Realizzazione delle opere idrauliche passanti al di sotto della platea e del pozzetto di ispezione;
- Realizzazione della platea di fondazione di 1° fase.

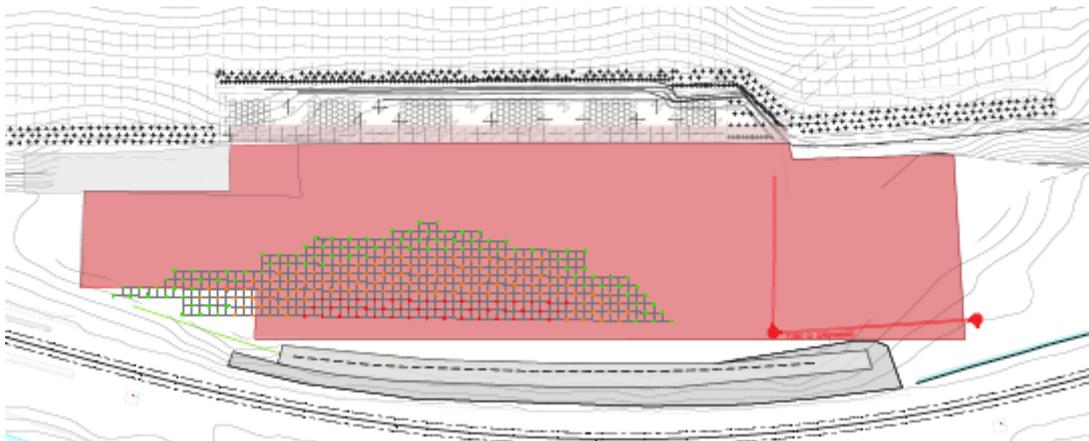


Figura 51 – Stralcio planimetrico inerente alla fase 2.

### Fase 3

- Installazione scatolare drenante prefabbricato;
- Varo degli impalcati prefabbricati galleria artificiale in interruzione totale;
- Posa in opera delle opere idrauliche di smaltimento acque tra galleria e muri di contenimento e dei rilevati pozzetti;
- Realizzazione dei contrafforti, dei tiranti provvisori, delle travi di collegamento della struttura a sbalzo provvisoria e varo in interruzione totale;
- Getto in opera dei contrafforti, delle travi in c.a. della struttura a sbalzo e realizzazione degli imbocchi.

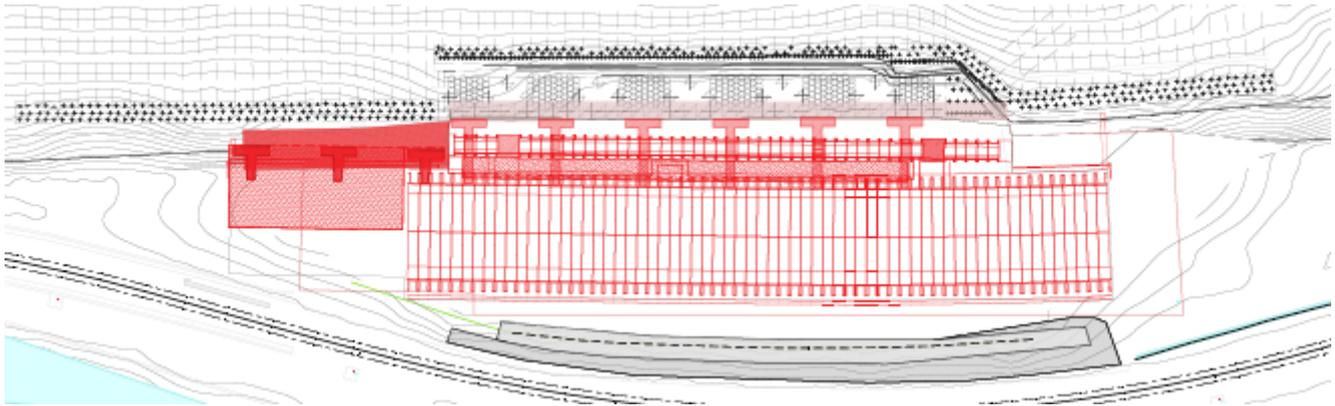


Figura 52 – Stralcio planimetrico inerente alla fase 3.

#### Fase 4

- Attivazione della linea sul Binario Dispari;
- Dismissione della viabilità provvisoria post-frana.

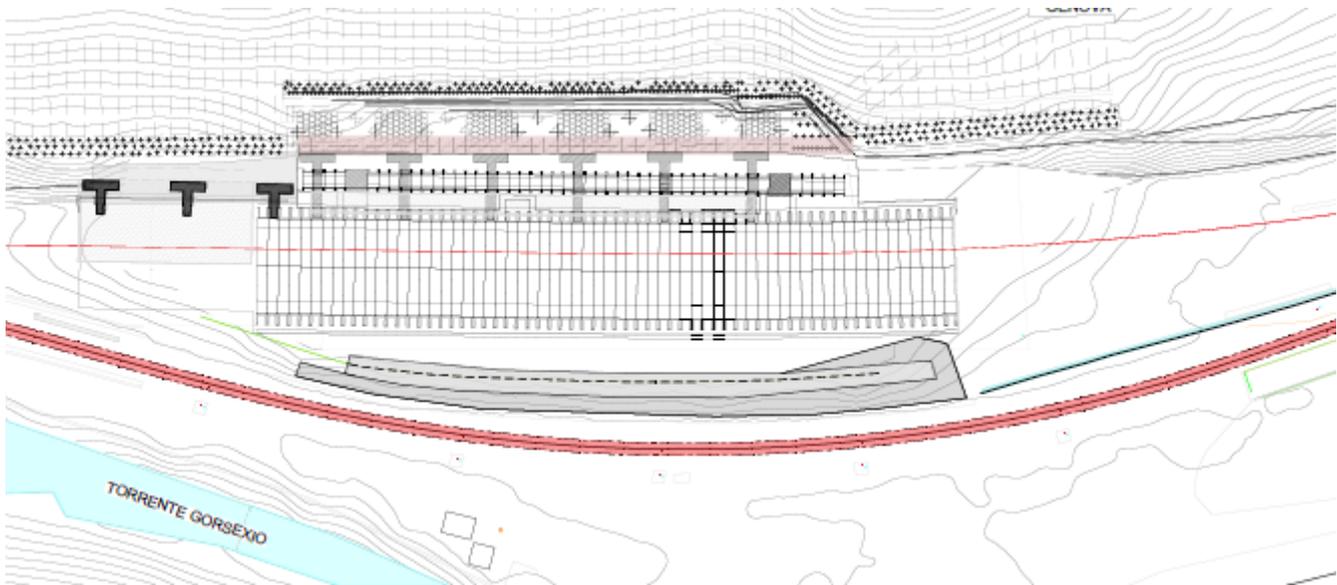


Figura 53 – Stralcio planimetrico inerente alla fase 4.

#### Fase 5

- Esecuzione degli scavi propedeutici alla realizzazione delle strutture di 2° fase con conseguente bonifica da ordigni bellici a partire dalla quota del p.c. pre-frana
- Realizzazione delle strutture di 2° fase;
- Attivazione della linea sul Binario Pari;
- Realizzazione delle rimanenti opere idrauliche di smaltimento acque interne;
- Demolizione parziale della scogliera di protezione;
- Realizzazione dei muri prefabbricati;
- Realizzazione della nuova rampa di accesso.

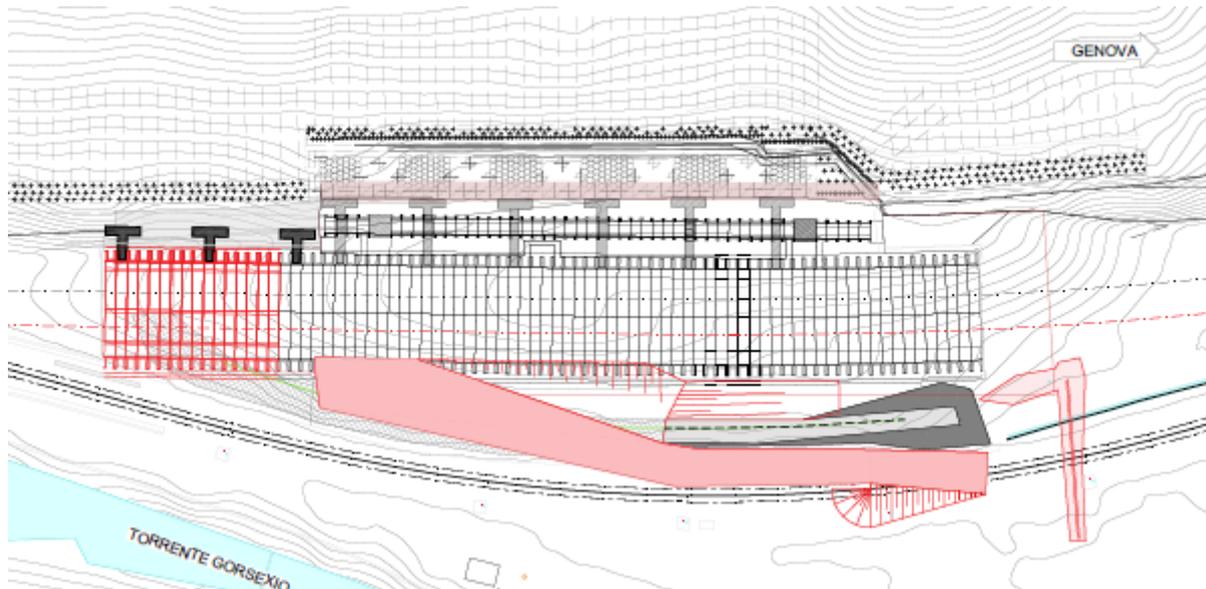


Figura 54 – Stralcio planimetrico inerente alla fase 5.

### Fase 6

- Realizzazione del paramento drenante;
- Ritombamento di terreno a tergo galleria;
- Realizzazione del prolungamento dei pozzi drenanti
- Esecuzione dei rafforzamenti corticali;
- Inerbimento del versante tramite idrosemina.
- Realizzazione delle opere di regimentazione idraulica di superficie;
- Installazione dei pannelli di rivestimento nei tratti a vista delle opere presenti.

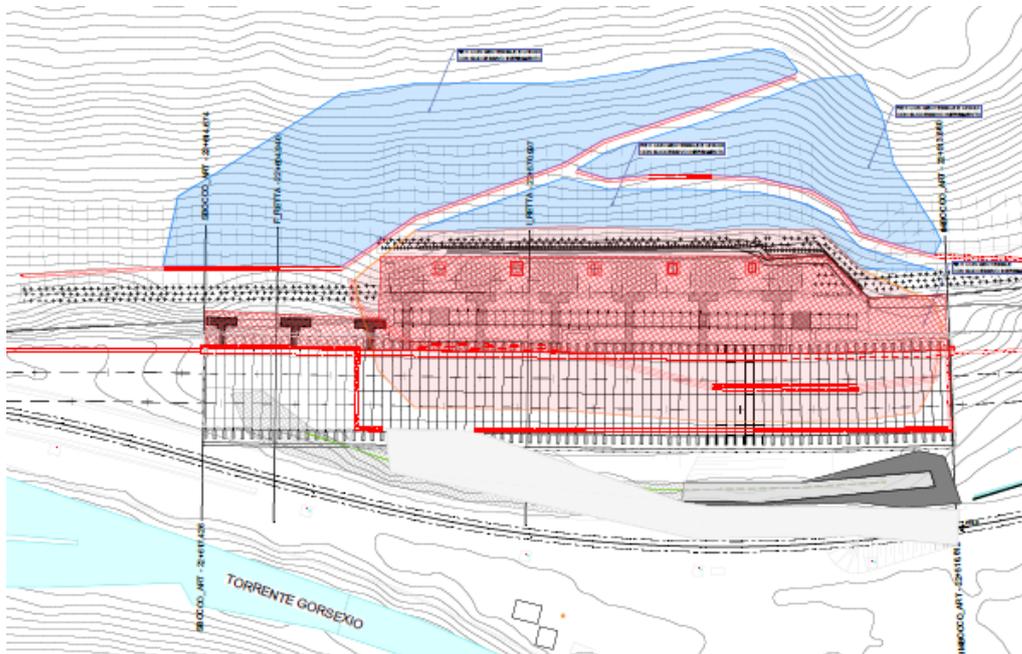


Figura 55 – Stralcio planimetrico inerente alla fase 6.