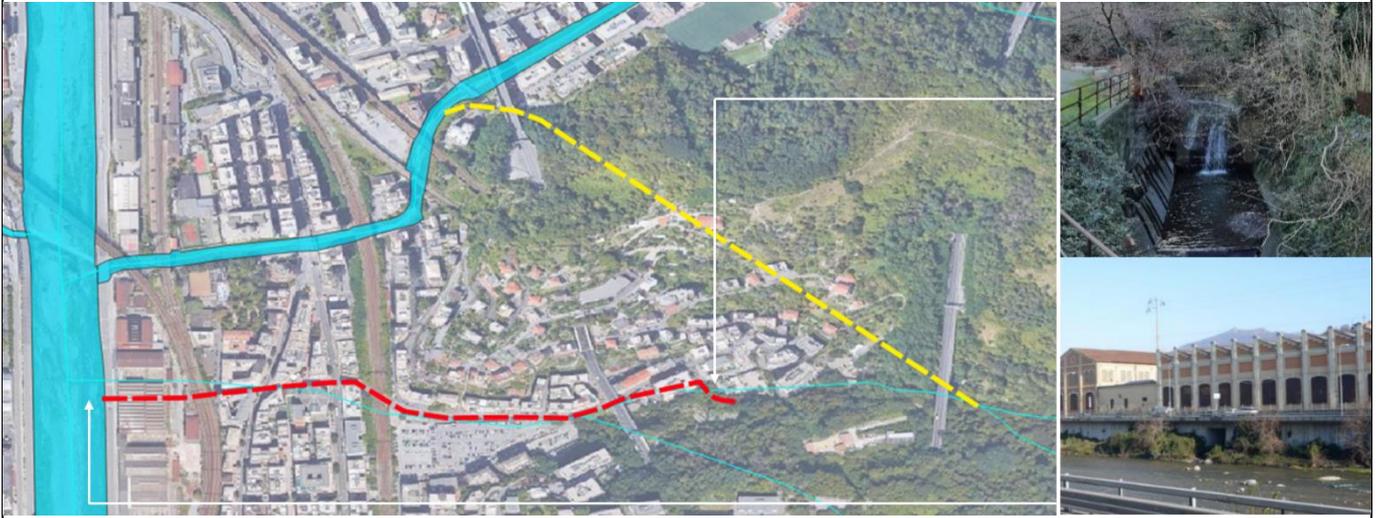




## COMUNE DI GENOVA



### Servizio di Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica e definitiva (per appalto integrato) nonché del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera” **PROGETTO DEFINITIVO**

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Valcalda

PROGETTAZIONE:	MANDATARIA: 	MANDANTE: Dott.ssa Claudia Pizzinato
----------------	-----------------	---

RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Simone Venturini

### TITOLO: GEOTECNICA ATTESTAZIONE SULLA COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON I MANUFATTI CIRCOSTANTI



CODICE ESTESO ELABORATO: II151F-PD-GET-R002_1	SCALA: -	DATA: 03/2023
	NOME FILE: II151F-PD-GET-R002_1.docx	

ELABORAZIONE PROGETTUALE: Ing. SIMONE VENTURINI Ordine degli ingegneri Della Provincia di Verona N. A2515	REVISIONI					
	REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
	0	11/2022	Emissione	A.RIZZO	G.MASSERA	S.VENTURINI
	0	03/2023	Emissione	A.RIZZO	G.MASSERA	S.VENTURINI



# INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OGGETTO E SCOPO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO.....</b>	<b>7</b>
<b>5. CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>10</b>
<b>6. SCATOLARE DI COLLEGAMENTO.....</b>	<b>12</b>
<b>7. RIPROFILATURA DEL TORRENTE TORBELLA .....</b>	<b>14</b>
7.1 Indagini geognostiche ed esplorative di progetto .....	14
7.2 Analisi della stabilità delle sponde del torrente Torbella non oggetto di intervento di protezione	16
7.2.1 Sezione n.12 – sponda sinistra.....	19
7.2.2 Sezione n.14 – sponda sinistra.....	22
7.2.3 Sezione n.19 – sponda destra .....	25
7.3 Analisi della stabilità delle sponde del torrente Torbella oggetto di interventi di protezione .....	29
<b>8. MONITORAGGIO.....</b>	<b>65</b>
<b>9. CONCLUSIONI .....</b>	<b>68</b>



## INDICE DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 1-1: Bacino del Torbella (in rosa), del Maltempo naturale (in verde) e urbanizzato (in giallo). La freccia indica qualitativamente la nuova galleria scolmatrice .....	3
Figura 2.1 PUC Carta di zonizzazione e suscettività d'uso del territorio. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata, mentre il tratto di intervento all'aperto lungo il T. Torbella con linea continua .....	4
Figura 2.2 PUC Carta di zonizzazione e suscettività d'uso del territorio. Legenda .....	5
Figura 4.1 Corografia a grande scala con ubicazione della galleria idraulica di derivazione del Rio Maltempo (Geoportale Regionale) .....	9
Figura 6.1 Scatolare di collegamento. Pianta con evidenza dell'opera di sostegno degli scavi (Paratia) ..	12
Figura 6.2 Scatolare di collegamento. Pianta con presenza dei contrasti in zona imbocco galleria .....	13
Figura 6.3 Sezione tipo dello scatolare gettato con la protezione di paratie perimetrali .....	13
Figura 7.1 Ubicazione pozzetti e numerazione dei ponti elencati in questo documento .....	15
Figura 7.2 Sezioni n. 12, n. 14, n. 16 e n. 19 lungo il corso del torrente Torbella. ....	18
Figura 7.3 Sezione n. 12 – situazione attuale statica. ....	20
Figura 7.4 Sezione n. 12 – situazione transitoria statica. ....	20
Figura 7.5 Sezione n. 12 – situazione definitiva statica. ....	21
Figura 7.6 Sezione n. 12 – situazione attuale sismica. ....	21
Figura 7.7 Sezione n. 12 – situazione definitiva sismica. ....	22
Figura 7.8 Sezione n. 14 – situazione attuale statica. ....	23
Figura 7.9 Sezione n. 14 – situazione transitoria statica. ....	23
Figura 7.10 Sezione n. 14 – situazione definitiva statica. ....	24
Figura 7.11 Sezione n. 14 – situazione attuale sismica. ....	24
Figura 7.12 Sezione n. 14 – situazione definitiva sismica. ....	25
Figura 7.13 Sezione n. 19 – situazione attuale statica. ....	26
Figura 7.14 Sezione n. 19 – situazione transitoria statica. ....	26
Figura 7.15 Sezione n. 19 – situazione definitiva statica. ....	27
Figura 7.16 Sezione n. 19 – situazione attuale sismica. ....	27
Figura 7.17 Sezione n. 19 – situazione definitiva sismica. ....	28
Figura 7.18 Sezione n. 16. ....	29
Figura 6-1: Inquadramento degli interventi di protezione delle opere esistenti lungo il corso del torrente Torbella nel tratto di monte (rif. elaborato II151F-PD-STR-D070_0) .....	29
Figura 6-2: Inquadramento degli interventi di protezione delle opere esistenti lungo il corso del torrente Torbella nel tratto di monte (rif. elaborato II151F-PD-STR-D071_0) .....	30
Figura 8.1 Ponti esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti. ....	65
Figura 8.2 Muri esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti. ....	66
Figura 8.3 Opere monitorate lungo lo scatolare di restituzione .....	67



# 1. PREMESSA

Il Comune di Genova ha affidato alla Scrivente la Progettazione Definitiva delle "Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera". Una delle soluzioni che hanno mostrato più interesse della Stazione Appaltante è stata quella che consentirebbe la risoluzione delle criticità idrauliche del rio Maltempo tramite la realizzazione di una galleria scolmatrice, la quale raccoglierebbe tutte le acque provenienti dalla parte non antropizzata e di monte del bacino, collettandole nel tratto terminale del t. Torbella.

Dal momento che tale corso d'acqua soffre già di per sé di problematiche di insufficienza idraulica delle sponde, nell'ambito del presente progetto viene studiato un intervento di sistemazione idraulica dello stesso, data la previsione dell'incremento della portata di progetto a causa dell'immissione della galleria scolmatrice. Tale intervento si basa sull'abbassamento e riprofilatura del fondo dell'alveo del t. Torbella, aumentandone la pendenza media di questo tratto in modo da eliminarne la tendenza al sovralluvionamento sulla base di un'analisi che valuta anche gli effetti che la nuova configurazione determina sul trasporto solido. Inoltre, per risolvere criticità locali dovute all'effetto di rigurgito a monte di ponti con pila centrale in alveo, si prevede contestualmente la sostituzione di alcune opere che è possibile ricostruire con un'unica campata e senza disturbare il deflusso delle portate in alveo. In questo modo, risulterebbe possibile, dunque, contenere nell'alveo la portata di progetto incrementata dalla galleria scolmatrice del rio Maltempo.

La risoluzione delle criticità idrauliche del rio Maltempo per mezzo della realizzazione della galleria scolmatrice e la verifica che un adeguato intervento di sistemazione idraulica risolva le criticità anche del t. Torbella consentirebbe di prevedere interventi locali e poco invasivi per adeguare idraulicamente il tratto tombato di valle del rio Maltempo, il quale sarebbe sgravato delle portate prodotte nella parte di monte del bacino e sarebbe in grado di far defluire la portata di progetto prodotta in quello di valle.

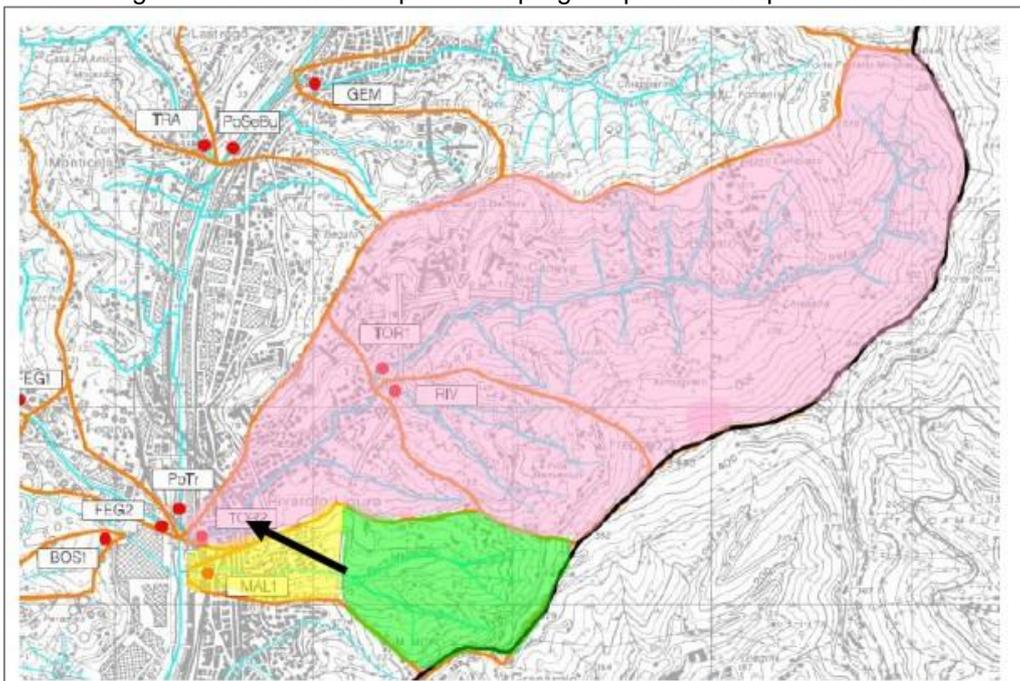


Figura 1-1: Bacino del Torbella (in rosa), del Maltempo naturale (in verde) e urbanizzato (in giallo). La freccia indica qualitativamente la nuova galleria scolmatrice



## 2. OGGETTO E SCOPO

La carta di "zonizzazione e suscettività d'uso del territorio" del PUC di Genova, di cui uno stralcio centrato sull'area in studio viene riportato in figura seguente definisce, in accordo alle norme geologiche di attuazione dello strumento urbanistico, il livello di approfondimento delle indagini in funzione della zonizzazione definita per l'area di intervento. La galleria idraulica attraversa zone "C" e "D" a "suscettività limitata", evitando aree urbanizzate e mantenendo una copertura significativa che esclude possibili effetti sulla superficie. Sono censite aree in zona "E", con "suscettività fortemente condizionata", che corrispondono a frane potenzialmente attive la cui posizione rimane esterna e ad ampia distanza rispetto ai lavori. Dallo sbocco della galleria l'intervento si sviluppa e nell'immediato intorno del T. Torbella interessando una zona "B" a "suscettività parzialmente condizionata" e, in particolare, una zona urbanizzata.

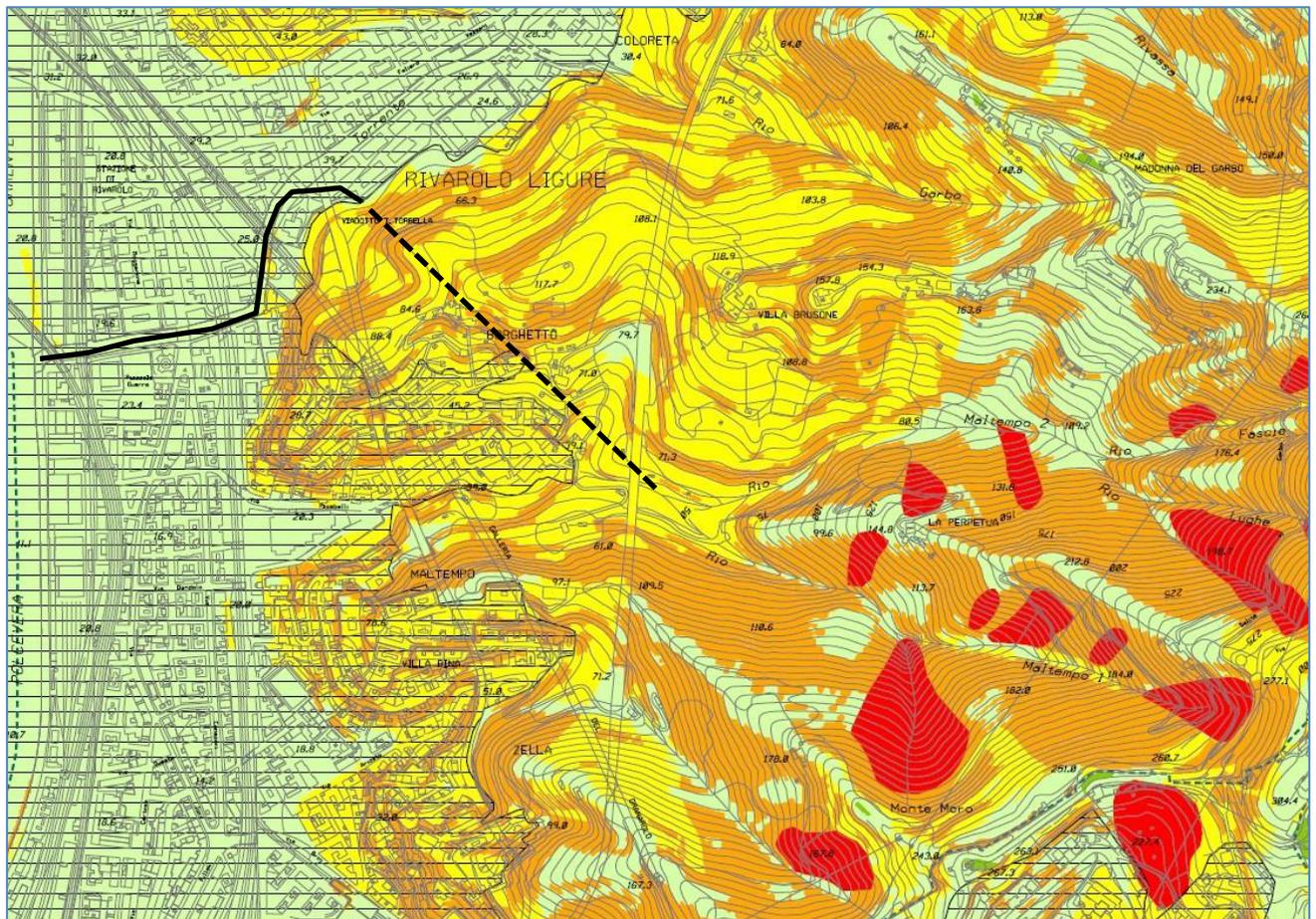


Figura 2.1 PUC Carta di zonizzazione e suscettività d'uso del territorio. La galleria idraulica è rappresentata con una linea tratteggiata, mentre il tratto di intervento all'aperto lungo il T. Torbella con linea continua

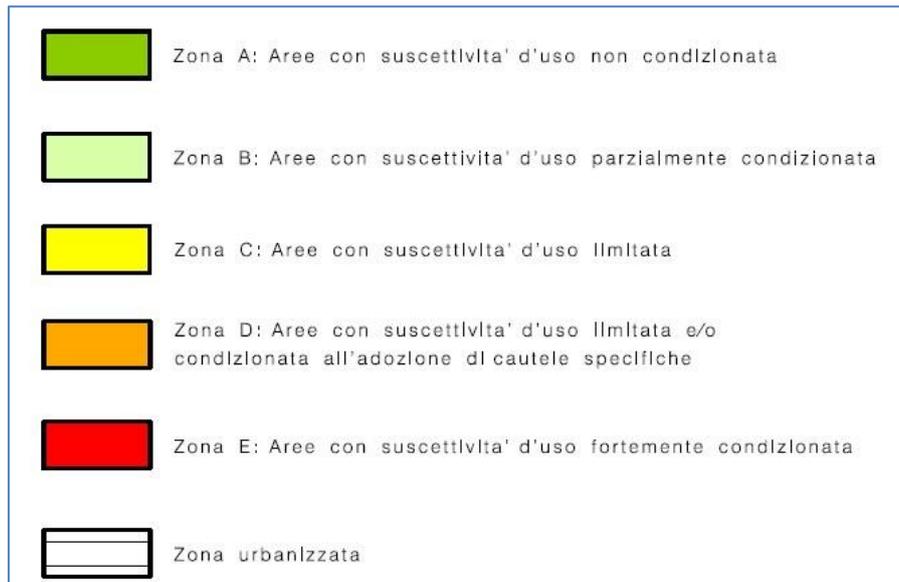


Figura 2.2 PUC Carta di zonizzazione e suscettività d'uso del territorio. Legenda

Le norme geologiche del PUC all'articolo 6 stabiliscono che *“per interventi in zone urbanizzate individuate nella carta di zonizzazione geologica del territorio, tra le relazioni a corredo del progetto dovrà essere inclusa una attestazione sulla compatibilità dell'intervento con i manufatti circostanti a firma del progettista delle strutture e finalizzata ad escludere ripercussioni dell'intervento in corso d'opera e successivamente alla fine dei lavori sul comportamento statico e sulla funzionalità dei manufatti adiacenti, come specificato all'articolo 15”*.

Ciò premesso il presente documento costituisce l'attestazione sulla compatibilità dell'intervento redatta ai sensi dell'articolo 6 e articolo 15 del PUC del Comune di Genova.

Lo scopo è quello di illustrare le scelte ed azioni progettuali volte ad escludere possibili ripercussioni sul comportamento statico e sulla funzionalità dei manufatti presenti lungo l'area urbanizzata che si sviluppa lungo ed a margine dell'alveo del Torrente Torbella.

Oltre a quanto riportato nel presente documento per maggiori dettagli in merito all'ubicazione delle diverse tipologie di lavori, a stralci planimetrie a diversa scala, ai particellari coinvolti dai lavori, alle interferenze, alla geologia e geotecnica delle aree, al dimensionamento delle opere previste, si rimanda alla documentazione allegata al progetto definitivo.



### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (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".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14/01/2008 pubblicate sulla G.U. n° 29 del 04.02.2008.
- Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14/01/2008. Circolare 02/02/2009 n° 617 C.S.LL.PP.
- Piano di Tutela delle Acque (PTU) della Regione Liguria approvato con Delibera 11 del 29/03/2016.
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sulla G.U. del 20.02.2018.
- Circolare 21/01/2019 n 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018.



## 4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

L'area in studio ricade nella porzione occidentale della città di Genova in corrispondenza del quartiere di Rivarolo, in sinistra idrografica del torrente Polcevera.

La morfologia generale è collinare, tipica del genovese. Nell'ambito del sedime in studio la collina è interrotta al piede dall'ampia spinata alluvionale del torrente Polcevera, larga in questo tratto fino a 900 m, avente orientazione circa nord sud ed il cui corso è regimato e delimitato da argini artificiali.

I rilievi collinari sono solcati dagli affluenti dello stesso torrente Polcevera, che nell'ambito dell'area di intervento sono il Rio Maltempo e il Torrente Torbella, entrambi aventi direzione circa E-W o NE-SW e posti in sinistra idrografica.

Il Rio Maltempo, come molti altri corsi d'acqua della città, è tombato nella parte più urbanizzata, circa dalla confluenza nel Polcevera per circa 600 m verso monte. Il Torrente Torbella scorre invece a cielo aperto con alveo spesso delimitato da muri e/o argini artificiali.

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare (IGM) l'area in studio ricade nella tavoletta 82-II-NE in scala 1:25.000 "Sestri Ponente". Nella Carta Tecnica Regionale (CTR) della Liguria in scala 1:10.000 ricade nel foglio 213150.

In figura 4.1 si riporta una corografia a grande scala tratta dal Geoportale della Regione Liguria con la posizione della galleria scolmatrice rispetto al reticolo idrografico principale.

La redazione della documentazione geologica a corredo del progetto si è avvalsa dei risultati di indagini pregresse reperite da diverse fonti, rilievi geologici di campagna eseguiti direttamente dai progettisti, ed una specifica campagna di indagini geognostiche condotta durante i primi mesi del 2022 articolata attraverso sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e di laboratorio su campioni, prospezioni geofisiche e pozzetti esplorativi. Ubicazioni e tipologie d'indagine sono stati condizionati dalla accessibilità dei luoghi e dalle caratteristiche dei materiali. I dati ottenuti nel corso delle diverse indagini, sia reperite che eseguite, sono fra loro ben congruenti.

Per una più chiara rappresentazione dei rapporti intercorrenti fra opere e terreni il progetto è corredato da una serie di elaborati grafici relativi a carta geologica, carta geomorfologica, carta idrogeologica, profili e sezioni geologiche.

L'area in studio si caratterizza per la presenza di un substrato roccioso argillitico riconducibile alla Formazione di Montanesi, un'unità strutturalmente complessa caratterizzata da valori di resistenza modesti, marcata fissilità, variabilità laterale e verticale del grado di fratturazione, alterabile nel tempo ed a contatto con aria ed acqua. I valori di RQD sono tendenzialmente bassi così come gli indici RMR e GSI. La giacitura degli strati, ove visibile e non occultata dallo stato fessurativo o complicata da pieghe derivanti dal comportamento duttile/fragile dell'ammasso, è immergente verso E o SE. Dalla cartografia geologica non risulta la presenza di faglie evidenti lungo la galleria, ma ciò è solo da attribuirsi alla particolare struttura di questa unità che ha un comportamento fragile/duttile ed è composta da accavallamenti tettonici interni non riconoscibili in campo, ma certamente presenti e testimoniati da una struttura fortemente deformata



accompagnata da fasce diversamente fratturate.

Coperture colluviali sono presenti lungo i versanti per spessori generalmente modesti e che nella documentazione bibliografica risultano compresi fra 0,5-3 m circa, ma che localmente possono risultare maggiori come evidenziato dalle indagini pregresse e da quelle specificamente eseguite.

All'altezza del viadotto autostradale il Rio Maltempo è sbarrato da un accumulo di materiale di riporto che, da quanto risulta, è stato messo in opera all'epoca di costruzione dell'autostrada. Dalle indagini disponibili il suo spessore raggiunge punte superiori a 12-15 m e poggia direttamente sul substrato roccioso, solo talvolta con interposizione di una coltre colluviale.

Depositi alluvionali grossolani si riscontrano lungo ed a margine l'alveo del Torrente Torbella fino alla confluenza con il Torrente Polcevera. Essi poggiano sul substrato argillitico la cui presenza è stata confermata da un sondaggio eseguito entro l'alveo stesso

La galleria idraulica si sviluppa interamente nelle argilliti di Montanesi. Stesso dicasi per l'opera di presa, il cui scavo potrà intercettare uno spessore pellicolare di depositi colluviali con locali e limitate tasche più profonde in sponda idrografica destra.

L'opera di raccordo fra galleria idraulica e Torbella interessa depositi alluvionali e un deposito colluviale riconducibile, probabilmente, ad un antico corpo di frana.

I lavori di riprofilatura del Torrente Torbella interessano alluvioni grossolane con falda la cui soggiacenza varia fra 3-4 m e piano campagna in funzione del periodo stagionale e dell'intensità degli eventi meteorici.

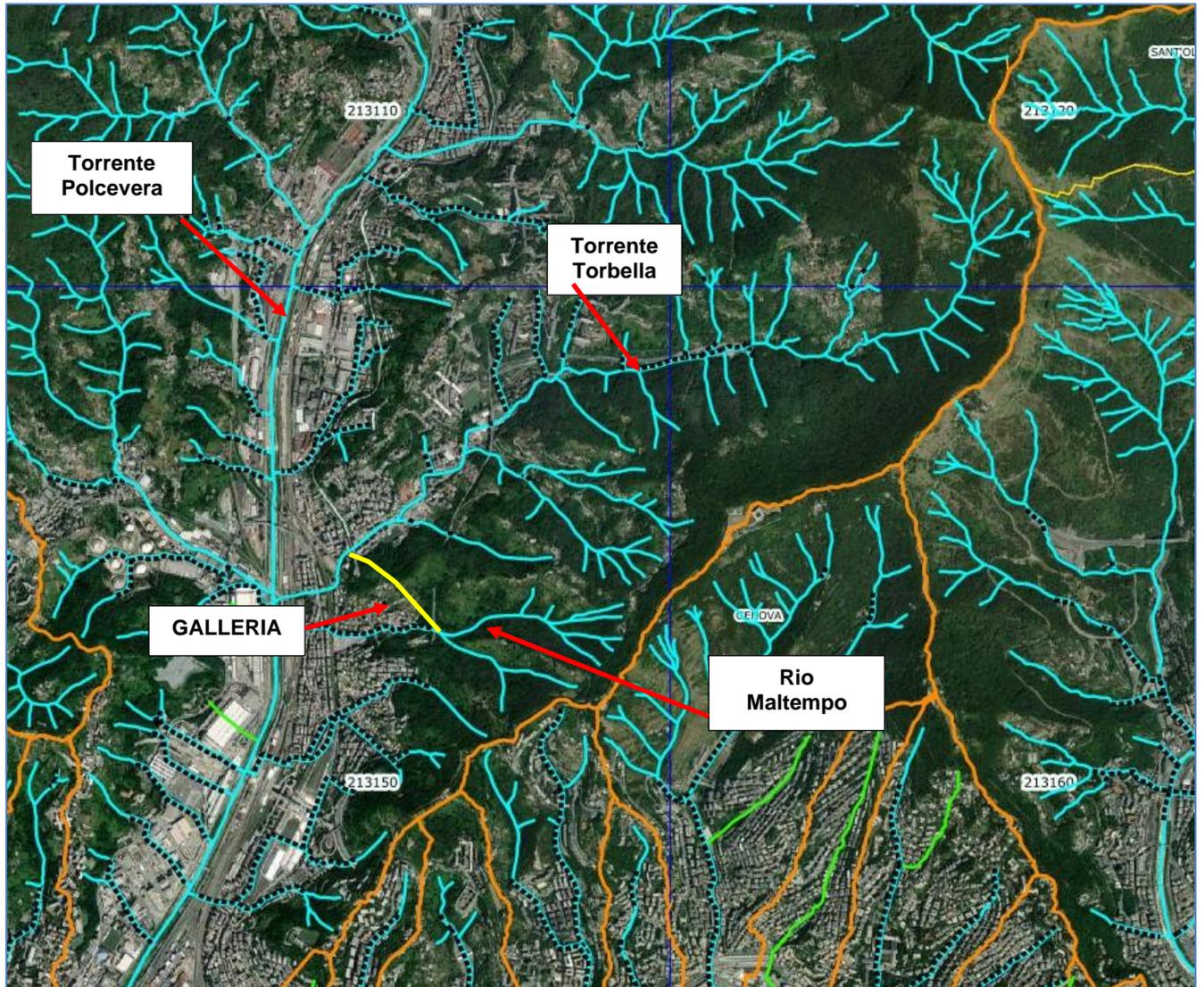


Figura 4.1 Corografia a grande scala con ubicazione della galleria idraulica di derivazione del Rio Maltempo (Geoportale Regionale)



## 5. CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

L'intervento in progetto può essere schematicamente diviso in due settori:

1. Settore di competenza della galleria scolmatrice, con annessa opera di presa;
2. Settore lungo ed a margine del t. Torbella.

Il tracciato in galleria è stato studiato in maniera tale da evitare ogni interferenza con possibili dinamiche superficiali garantendo al contempo un'adeguata copertura sopra la calotta. Esso non interferisce con aree urbanizzate. Lo scavo si sviluppa interamente in un substrato lapideo rappresentato dalle argilliti di Montanesi puntualmente riscontrate in affioramento e nel corso delle indagini geognostiche puntualmente eseguite.

Allo sbocco della galleria la portata scolmata viene immessa nel T. Torbella. Ciò ha reso necessario intervenire all'interno dell'area urbanizzata individuata nel PUC, e più in particolare entro e nell'intorno del T. Torbella nel tratto compreso fra la galleria scolmatrice e la confluenza nel torrente Polcevera. I lavori in quest'ambito interessano depositi alluvionali prevalentemente granulari, in appoggio sul substrato delle argilliti di Montanesi, con falda idrica di subalveo caratterizzata da una spiccata variabilità stagionale. Nell'ambito del T. Torbella il progetto ha previsto:

- a) la realizzazione di un manufatto scatolare che in sponda sinistra collega direttamente l'alveo del T. Torbella con la galleria scolmatrice;
- b) una riprofilatura dell'alveo del T. Torbella al fine di renderlo idoneo a smaltire le portate ivi immesse attraverso la galleria scolmatrice.

Stante la presenza di depositi alluvionali lungo e nell'intorno del T. Torbella e preso atto dell'attraversamento di un'area urbanizzata il progetto ha previsto:

- un'indagine geognostica in corrispondenza delle aree interessate dai lavori, dei manufatti di attraversamento e dei muri di sponda. In particolare, sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e di laboratorio su campioni, prospezioni geofisiche, e numerosi saggi con escavatore distribuiti proprio lungo l'alveo del T. Torbella per verificare la tipologia di fondazioni e la relativa profondità d'imposta;
- di evitare scavi non sostenuti inserendo opportune opere di sostegno lungo il canale di collegamento fra galleria scolmatrice e t. Torbella;
- di minimizzare gli scavi di riprofilatura in alveo evitando possibili interferenze con i muri di sponda e più in generale con le strutture che perimetrano l'alveo stesso;
- di prevedere interventi di protezione delle opere spondali attualmente esistenti lungo il corso del torrente Torbella, nei casi in cui lo scavo previsto per la posa del rivestimento dell'alveo comporti l'approfondimento oltre la quota d'imposta delle fondazioni delle attuali opere;
- di consolidare le fondazioni dei ponti e viadotti che attraversano il T. Torbella nelle aree soggette



- a scavi di riprofilatura in qualche modo significativi;
- un piano di monitoraggio per verificare l'effettiva interazione opere terreni.

Per maggiori dettagli sugli esiti delle indagini geognostiche si rimanda ai contenuti della Relazione Geologica e Relazione Geotecnica. Per i risultati delle indagini si rimanda alla relativa planimetria e al documento contenente gli esiti degli accertamenti seguiti.

Nei capitoli seguenti sono illustrate le soluzioni previste e descritte le motivazioni che permettono di escludere eventuali ripercussioni derivanti dai lavori sui manufatti esistenti.



## 6. SCATOLARE DI COLLEGAMENTO

Per realizzare il collegamento fra lo sbocco della galleria scolmatrice e l'alveo del Torbella, la precisa scelta di evitare scavi a cielo aperto ha comportato la previsione di una struttura scatolare delimitata su tutti i lati da un'opera di sostegno. L'opera consiste in una paratia di pali  $\Phi$  600 mm, puntonati in prossimità dell'imbocco dove l'altezza di scavo è maggiore e libera nella parte di collegamento al rio. L'altezza di scavo è variabile con valore massimo di 11,0m. I pali in corrispondenza dell'imbocco galleria sono lunghi 20 m; qui l'altezza di scavo ha richiesto la posa di un ordine di puntoni disposti a circa 3,9 m dalla testa. L'opera di sostegno e il sistema di contrasto sono resi solidali mediante una trave di ripartizione costituita da 2 profili HEB240. Lungo il canale di collegamento l'altezza rimane costante ed è pari a 5,0 m, con pali lunghi 12 m disposti a quinconce con interasse longitudinale di 1,2 m e 0,8 m trasversale.

Lo scatolare vero e proprio viene quindi realizzato fra paratie perimetrali. Al termine dei lavori al di sopra dello scatolare un ritombamento permette di ripristinare lo stato dei luoghi.

L'adozione di un'opera di sostegno lungo l'intero tratto consente di evitare qualsiasi ripercussione fra gli scavi e i fabbricati circostanti, oltre al viadotto autostradale.

Per maggiori dettagli sul dimensionamento delle opere si rimanda alla specifica relazione di calcolo.

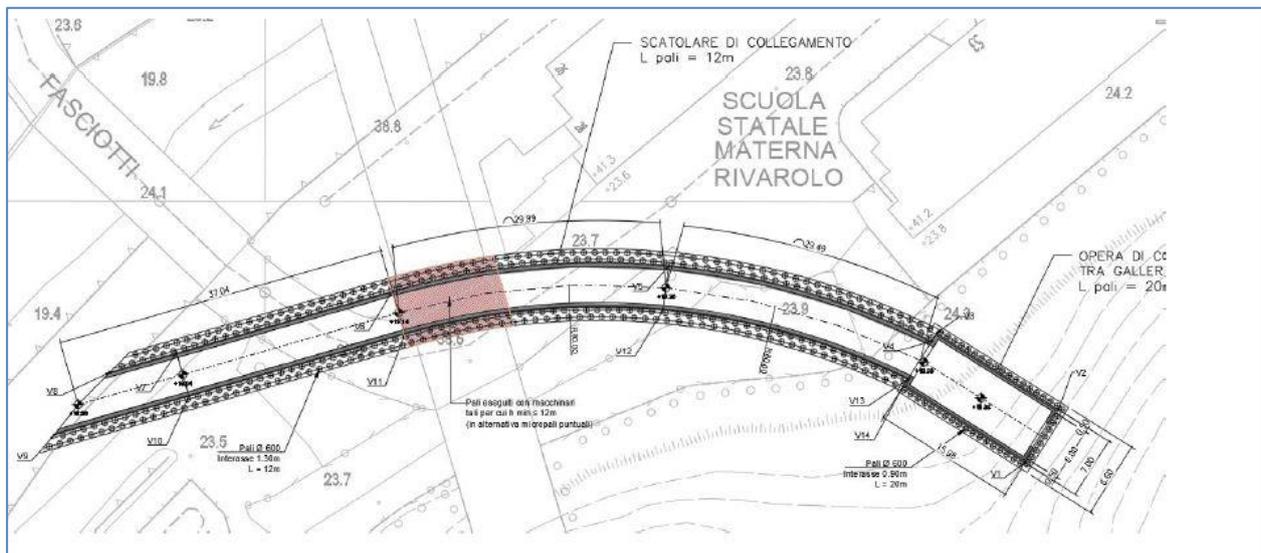


Figura 6.1 Scatolare di collegamento. Pianta con evidenza dell'opera di sostegno degli scavi (Paratia)

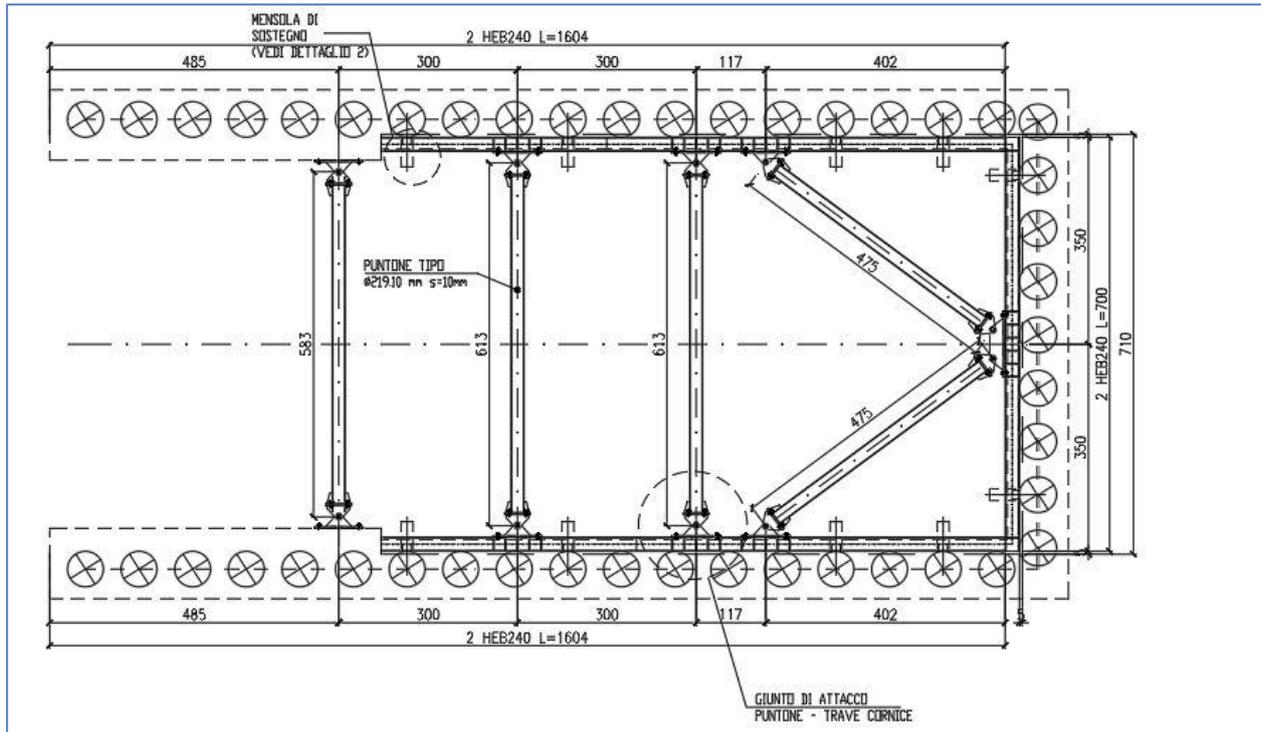


Figura 6.2 Scatolare di collegamento. Pianta con presenza dei contrasti in zona imbocco galleria

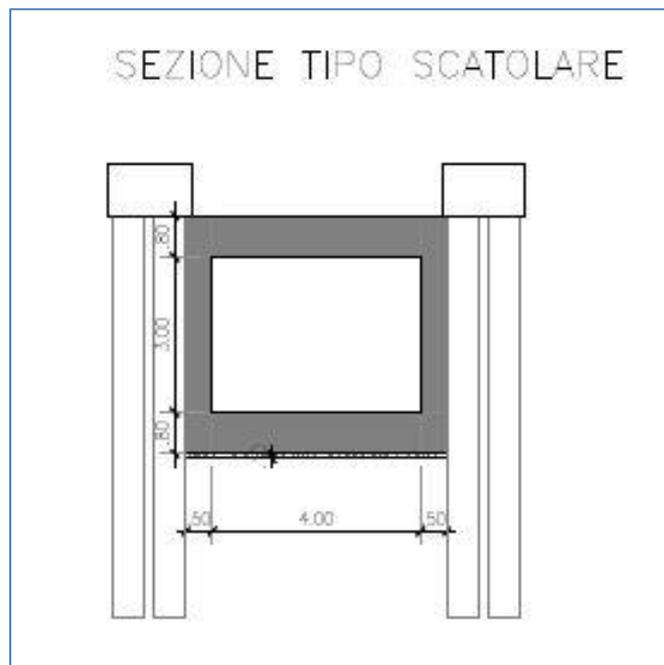


Figura 6.3 Sezione tipo dello scatolare gettato con la protezione di paratie perimetrali



## 7. RIPROFILATURA DEL TORRENTE TORBELLA

Lungo il torrente Torbella nel tratto compreso fra lo sbocco della galleria scolmatrice fino alla confluenza nel Torrente Polcevera sono presenti muri di contenimento laterali e diversi ponti che attraversano l'alveo, prevalentemente ferroviari e in un caso stradale, ad una o due campate. In particolare, da monte verso valle si riconosce:

1. Una passerella carrabile su via Fasciotti di accesso ad una serie di unità residenziali. Non ha fondazioni in alveo.
2. Un ponte ferroviario in muratura ad arco a due campate con una pila in alveo;
3. Un ponte ferroviario in cls ad una campata;
4. Un ponte ferroviario in muratura ad arco ad una campata;
5. Un ponte stradale su via Canepari in cls a due campate con una pila in alveo. E' prevista la demolizione e ricostruzione di quest'opera;
6. Un ponte ferroviario in muratura ad arco a 3 campate con una pila in alveo,
7. Una piccola passerella in cls con una pila in alveo. È previsto il rifacimento della pila di tale opera.

### 7.1 Indagini geognostiche ed esplorative di progetto

Nell'ambito della campagna d'indagine è stata eseguita una serie di pozzetti esplorativi per verificare la tipologia di terreni e le fondazioni delle opere (muri e ponti) presenti lungo il tratto d'intervento. In tabella seguente sono riepilogati i risultati dei saggi sui pozzetti, ed in figura la relativa ubicazione con la numerazione dei ponti richiamata in questo documento. I pozzetti sono integrati da un sondaggio ubicato in alveo e da un'indagine geofisica costituita da una prospezione Masw ed una Remi.

Pozzetto	Quota (mslm)	Profondità (m)	Litologia	Campioni rimaneggiati	Campioni ambientali	Opera	Profondità fondazione (m)	Note
P1	16.6	1	Ghiaia con sabbia	1		Ciottoli 11.5%, ghiaie 72.5%, sabbie 10.5%, limi e argille 5.5%		
PE1	16.61	2	Ghiaia con sabbia e limo			Tombotto Sx	0.8	
PE2	17.35	2.7	Ghiaia con sabbia e limo			Spalla ponte FFSS (n 4)	>2.7	
PE3	16.85	1.2	Ghiaia con sabbia e limo			Condominio DX	1	
PE4	17.43	2.8	Ghiaia con sabbia e limo			Muro via Torbella	>2.8	
PE5	17.2	1.1	Ghiaia con sabbia e limo			Ponte stradale pila (n 5)	>1.1	Presenza di gabbioni
PE6	16.83	0.8	Ghiaia con sabbia e limo			Ponte stradale spalla (n 5)	>0.8	
PE7	16.33	1.4	Ghiaia con sabbia e limo			Muro via Torbella	1.4	
PE8	16.28	2.8	Ghiaia con sabbia e limo		2	Muro campo sportivo dx	0.2	
PE9	15.72	2.5	Ghiaia con sabbia e limo			Pila ponte FFSS (n. 6)	2.5	
PE10	15.74	1.4	Ghiaia con sabbia e limo			Spalla ponte FFSS (n. 6)	0.9	Blocchi in fondazione
PE10bis	15.28	0.7	Ghiaia con sabbia e limo			Spalla ponte FFSS (n. 6)	0.5	Blocchi in fondazione
PE11	18.05	1.5	Ghiaia con sabbia e limo			Spalla ponte FFSS (n. 3)	1.1	Interferenza con tubo
PE12	18.62	2.1	Ghiaia con sabbia e limo			Pila ponte FFSS (n. 2)	>3	Interferenza con tubo
PE12bis	18.55	3	Ghiaia con sabbia e limo			Pila ponte FFSS (n. 2)	>3	Interferenza con tubo
PE13	18.82	0.5	Ghiaia con sabbia e limo			Spalla ponte FFSS (n. 2)	>0.5	Interferenza con tubo
PE13bis	18.85	2.5	Ghiaia con sabbia e limo			Spalla ponte FFSS (n. 2)	>2.5	

Tabella 7.1 Riepilogo pozzetti esplorativi lungo il T. Torbella

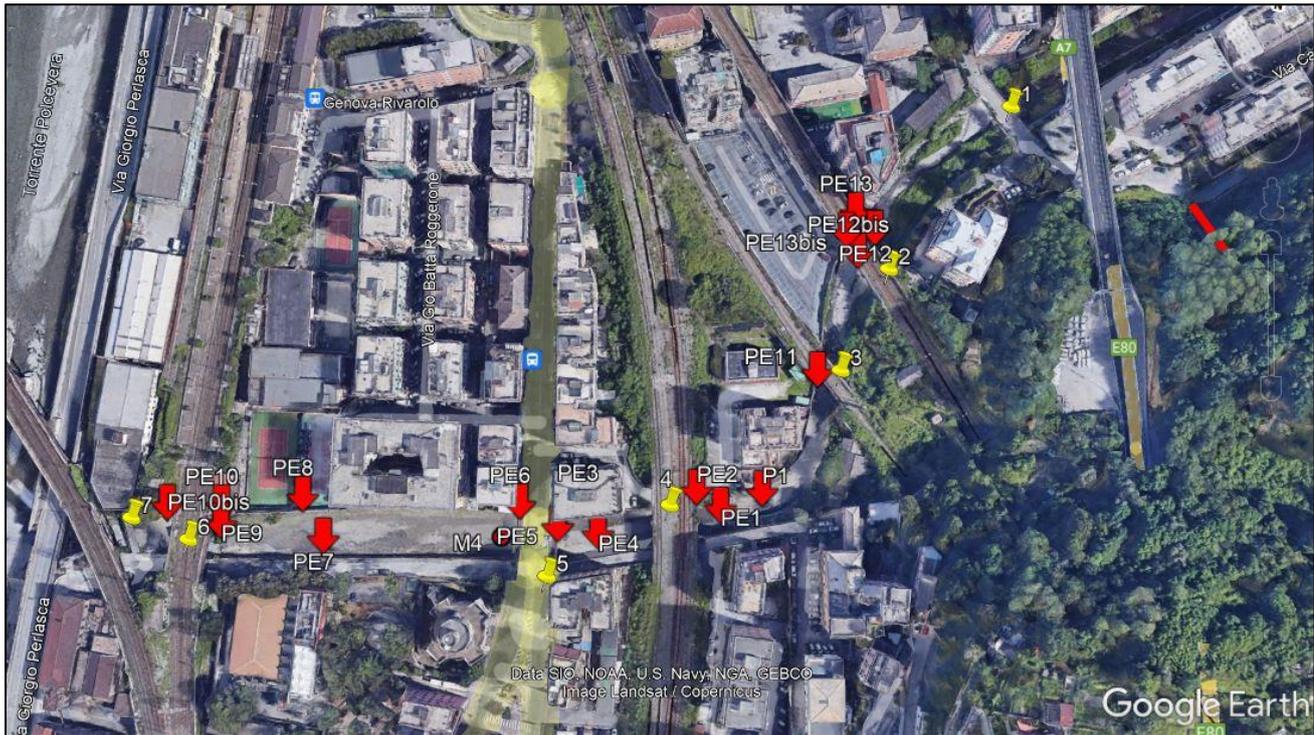


Figura 7.1 Ubicazione pozzetti e numerazione dei ponti elencati in questo documento

Tutti i pozzetti, che si sono spinti sino a profondità variabili fra un minimo di 0.5 m ed un massimo di 3.0 m da p.c., riscontrano un deposito alluvionale grossolano ghiaioso ciottoloso sabbioso in scarsa matrice fine composto da diversi tipi litologici, con una prevalenza di termini argillitici e manosi e subordinati calcari. In nessun caso è stata intercettata la falda idrica che evidentemente, all'atto delle prove (marzo 2022), si attesta a profondità superiori. Rimandando alle schede dei pozzetti esplorativi in allegato al progetto per maggiori dettagli, i saggi hanno evidenziato come le fondazioni delle opere d'arte (sia ponti che muri) siano di tipo diretto in appoggio sui depositi alluvionali con interposizione, in alcuni casi (ponte ferroviario identificato con il numero 6) di grossi blocchi lapidei.

A seguito di approfondimenti progettuali sono stati eseguiti ulteriori pozzetti esplorativi al piede delle opere spondali del torrente Torbella e, in aggiunta, alcuni carotaggi per indagare alcune opere di sponda non indagabili con pozzetti a causa dell'impossibilità di effettuare operazioni di scavo (febbraio 2023).

In particolare, si riportano nel seguito i principali dati ottenuti:

Pozzetto	Quota (mslm)	Profondità (m)	Litologia	Opera	Profondità fondazione (m)
PE7bis	16,05	1,4	Ghiaia con sabbia e limo	Muro via Torbella	1,4
PE14	20,23	3	Ghiaia con sabbia e limo	Muro Dx Torbella	>3
PE15	20,56	3	Ghiaia con sabbia e limo	Muro sx comparto Fasciotti	>3



PE16	19,06	2,7	Ghiaia con sabbia e limo	Muro Dx Torbella	>2,7
PE17	19,48	1,7	Ghiaia con sabbia e limo	Muro sx FFSS	1,4
PE18	18,07	0,7	Ghiaia con sabbia e limo	Muro sx Parcheggio	>0,7
PE19	18,49	1,2	Ghiaia con sabbia e limo	Gabbioni sx	1,2
PE20	18,05	2,6	Ghiaia con sabbia e limo	Edificio dx strada privata via Rossini	>2,6
PE21	18,48	2	Ghiaia con sabbia e limo	Muro dx strada privata via Rossini	0,4
PE22	16,95	1,4	Ghiaia con sabbia e limo	Muro a valle ponte Canepari	1,4
PE23	15,42	1,7	Ghiaia con sabbia e limo	Pila Passerella privata	1,3
CA01	16,38	4,0		Spalla nord ponte ferroviario	
CA02	15,63	2,5		Muro Dx Torbella a valle ponte ferroviario	
CA03	17,77	2,5		Muro Sx Torbella in prossimità attuale accesso alveo	

Nel tratto compreso fra l'immissione della galleria di derivazione e il torrente Polcevera la sezione idraulica del torrente Torbella, dovendo ricevere un incremento di portata, verrà riprofilata adottando, laddove gli scavi sono più significativi, una sezione trapezia. Per evitare possibili ripercussioni sulle opere esistenti, nei tratti dove l'abbassamento della quota del talweg di progetto è indicativamente maggiore di 0.5 m rispetto alla quota attuale la riprofilatura viene limitata alla porzione centrale dell'alveo, lasciando immutato il profilo esistente in prossimità delle sponde per una larghezza di almeno 3-4 m. Inoltre, per evitare possibili fenomeni erosivi e conferire un piede stabile all'intervento, è stato previsto un diffuso rivestimento dell'alveo in massi non legati di 2° categoria.

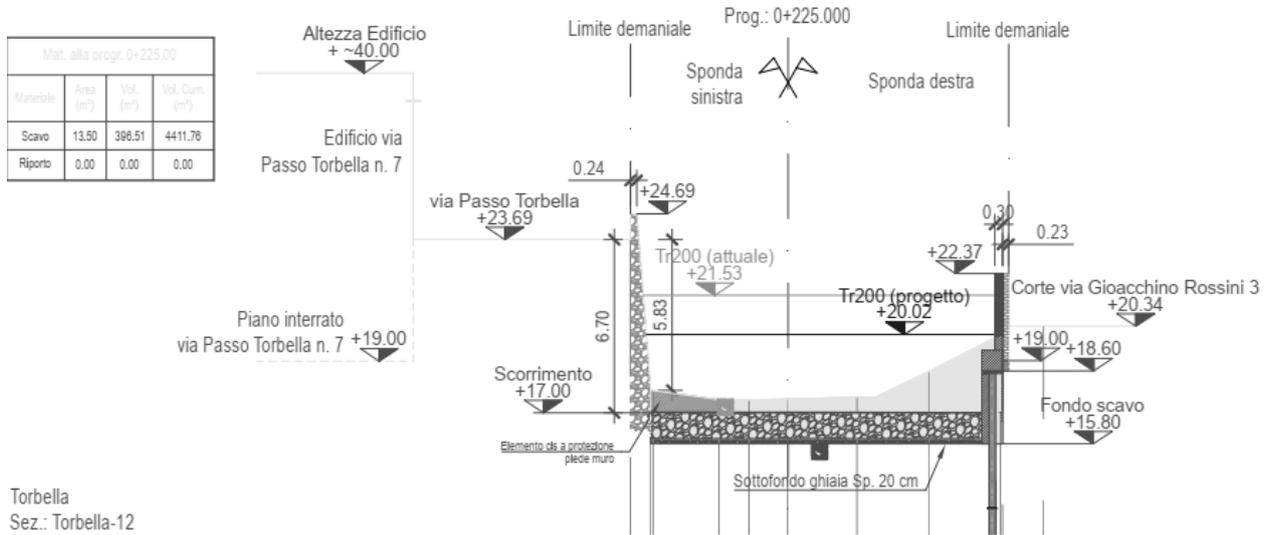
Opportune opere di consolidamento e protezione sono state previste in corrispondenza delle fondazioni dei ponti che ricadono nelle aree oggetto degli interventi di riprofilatura più significativi e in corrispondenza delle opere spondali con fondazioni non sufficientemente profonde rispetto all'intervento previsto in progetto.

## 7.2 Analisi della stabilità delle sponde del torrente Torbella non oggetto di intervento di protezione

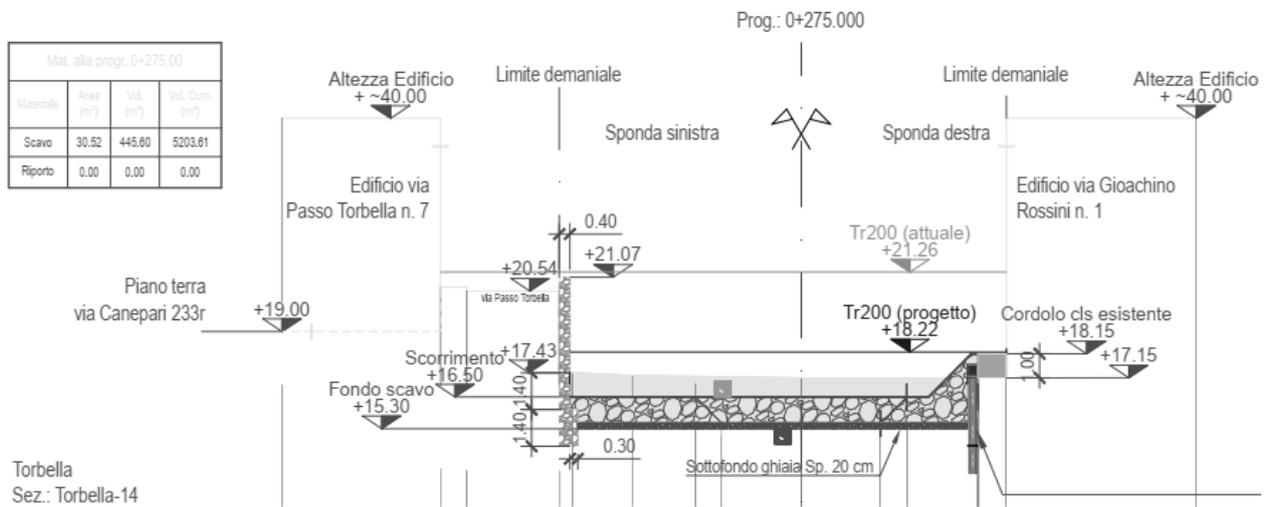
Di seguito si riportano le analisi di stabilità condotte sulle sezioni più significative dell'alveo del torrente Torbella. Per la sezione n.12 e n.14 si considera un'asportazione di terreno dell'ordine di 0.5 m per tutta la larghezza dell'alveo, mentre per le sezioni n.16 e n.19 il materiale asportato raggiunge la profondità di circa 1.2 m nella zona centrale dell'alveo ad una distanza dalle sponde superiore a 4 m. Per tutte le sezioni è



prevista la realizzazione sul fondo di un rivestimento in massi non legati di seconda categoria dello spessore di 1 m (figura 7.1).



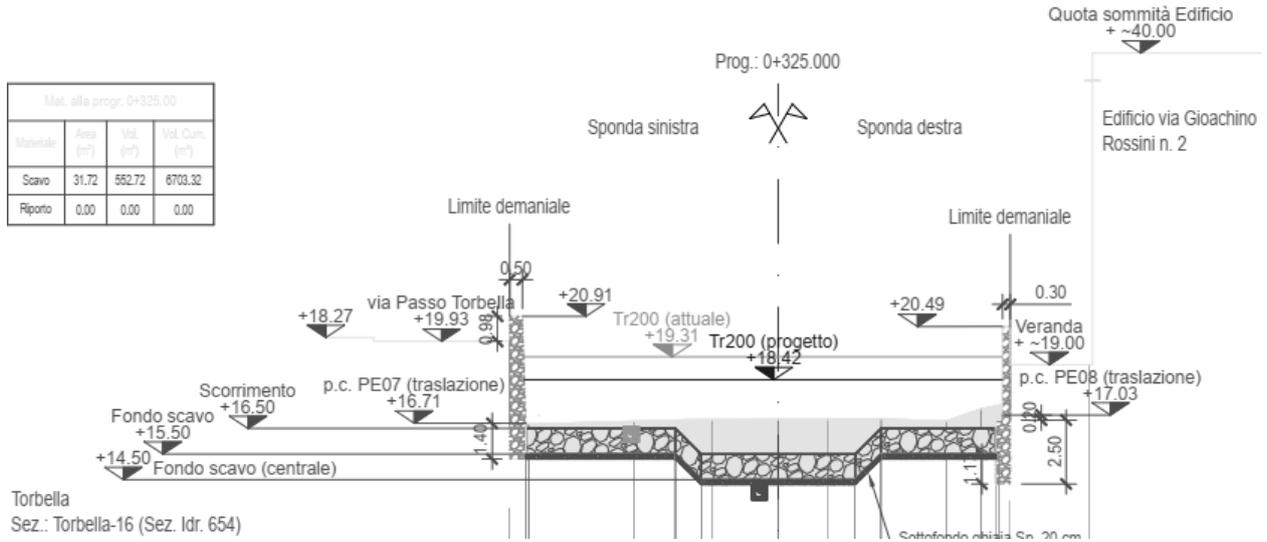
**SEZIONE N.12 – situazione più gravosa sponda sinistra.**



**SEZIONE N.14– situazione più gravosa sponda sinistra.**

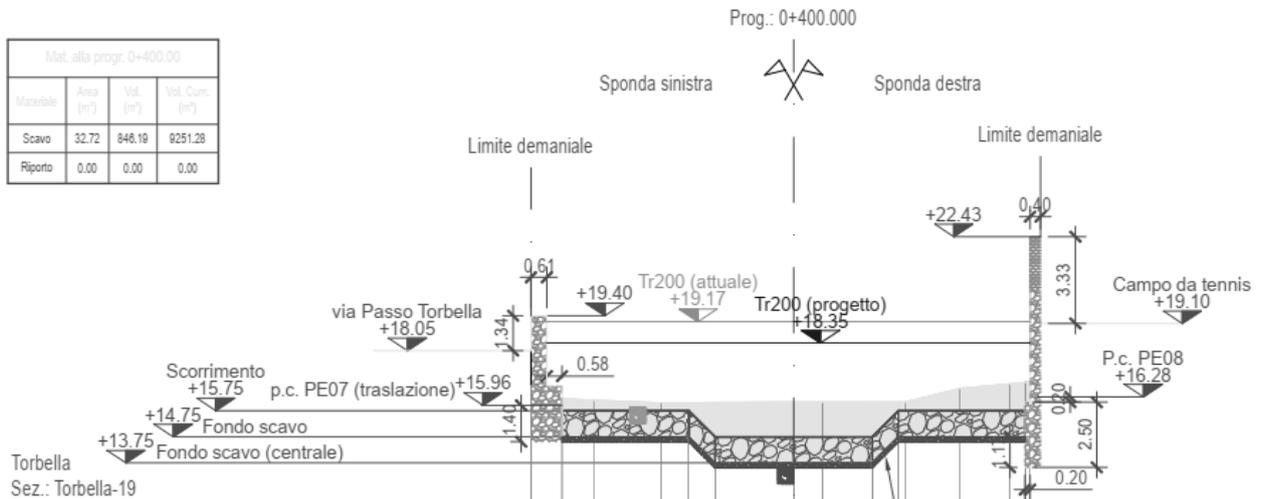


Mat. alla progr. 0+325.00			
Materiale	Area (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. Cum. (m <sup>3</sup> )
Scavo	31.72	562.72	6703.32
Riparto	0.00	0.00	0.00



**SEZIONE N.16– situazione più gravosa sponda sinistra.**

Mat. alla progr. 0+400.00			
Materiale	Area (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. Cum. (m <sup>3</sup> )
Scavo	32.72	848.19	9251.28
Riparto	0.00	0.00	0.00



**SEZIONE N.19– situazione più gravosa sponda destra.**

Figura 7.2 Sezioni n.12, n.14, n.16 e n.19 lungo il corso del torrente Torbella.

L'analisi è stata condotta con il software "GEO5 - Slope Stability" di FINE spol. s r.o., tra i diversi metodi di verifica a disposizione è stato scelto il metodo di Spencer (1967 - A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces – Géotechnique), che permette di analizzare le condizioni di equilibrio limite per superfici di scorrimento cilindriche, rispettando l'equilibrio dei momenti e delle forze orizzontali e verticali. L'ammasso di terreno compreso fra la superficie topografica e la superficie di scivolamento viene diviso in conci per ciascuno dei quali viene ricercato l'equilibrio alla rotazione intorno al centro della superficie di scivolamento. Tramite un processo iterativo, si arriva alla definizione di un coefficiente di sicurezza che rappresenta la condizione di equilibrio per la superficie ipotizzata. Fra le diverse superfici di scorrimento possibili, viene indicata come superficie critica quella che presenta il valore minimo del fattore di sicurezza FS. La ricerca della superficie critica di scorrimento è stata eseguita



adottando il criterio dell'ottimizzazione che prevede inizialmente il controllo di un numero elevato di superfici di scorrimento plausibili fino ad ottimizzare la griglia di ricerca finale.

Per quanto riguarda i parametri meccanici delle alluvioni (AA/AM) si rimanda alla tabella 6.3 della Relazione Geotecnica di progetto, mentre il rivestimento in massi è stato caratterizzato con un peso di volume  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ , una coesione  $c = 0 \text{ kPa}$  ed un angolo di resistenza al taglio  $\varphi = 45^\circ$ . Non si è considerata la falda in quanto non presente nel volume di terreno interessato dalle superfici di scorrimento, si è assunto per le fondazioni dei muri una larghezza alla base non inferiore al metro. Per quanto riguarda gli edifici, si stima un carico unitario sul piano di fondazione pari a  $200 \text{ kg/m}^2$  (acc.) +  $300 \text{ kg/m}^2$  (perm.) =  $500 \text{ kg/m}^2$  per piano distribuito su n.8 piani (compreso tetto e piano terra), corrispondente ad una pressione sul piano di fondazione di  $4000 \text{ kg/m}^2$  ( $40 \text{ kPa}$ ).

Il coefficiente parziale di sicurezza minimo di norma è pari a  $\gamma_R = 1.1$ , che equivale ad un fattore di utilizzazione  $1/\gamma_R \cdot 100 = 90.9 \%$ . Di seguito i risultati delle analisi sono espressi in termini di fattore di utilizzazione, quindi valori inferiori a  $90.9 \%$  corrispondono a fattori di sicurezza parziali superiori a  $\gamma_R = 1.1$ .

Per l'esecuzione delle verifiche in **condizioni sismiche (SLV)**, sono stati assunti i valori caratteristici di resistenza al taglio del terreno, mentre le azioni sono state moltiplicate per coefficienti di amplificazione unitari. I coefficienti sismici considerati nelle verifiche risultano pari a:

- $k_h = \beta_s \cdot S_T \cdot S_s \cdot a_g / g = 0.38 \cdot 1 \cdot 1.2 \cdot 0.088 = 0.040$
- $k_v = \pm 0.5 k_h \cong \pm 0.02$

### Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,500	1,000	0,000	--	0,376	--
SLD	1,200	1,460	1,000	0,022	0,011	0,455	0,470
SLV	1,200	1,400	1,000	0,040	0,020	1,033	0,380
SLC	1,200	1,400	1,000	0,000	--	1,321	--

Per le verifiche sismiche, la norma prevede l'impiego di un coefficiente di sicurezza parziale minimo pari a  $\gamma_R = 1.2$ , equivalente ad un fattore di utilizzazione  $1/\gamma_R \cdot 100 = 83.3 \%$ . Con riferimento al segno della componente sismica verticale, sono riportati i risultati che forniscono il minimo fattore di sicurezza.

Si evidenzia che le operazioni di scavo e successiva posa del rivestimento in massi non legati di seconda categoria dovranno essere eseguite per sottocantieri dello sviluppo in avanzamento non superiore a 3 m.

#### 7.2.1 Sezione n.12 – sponda sinistra

Si evidenzia che la tipologia di muro considerata nell'analisi è stata valutata sulla base delle indagini eseguite (carotaggio); inoltre vista la dimensione del muro in elevazione è stata stimata, con riferimento alla previgente normativa DM 11.03.1988, una larghezza di fondazione dell'ordine di 3.5 m, necessaria alla verifica di capacità portante del muro.

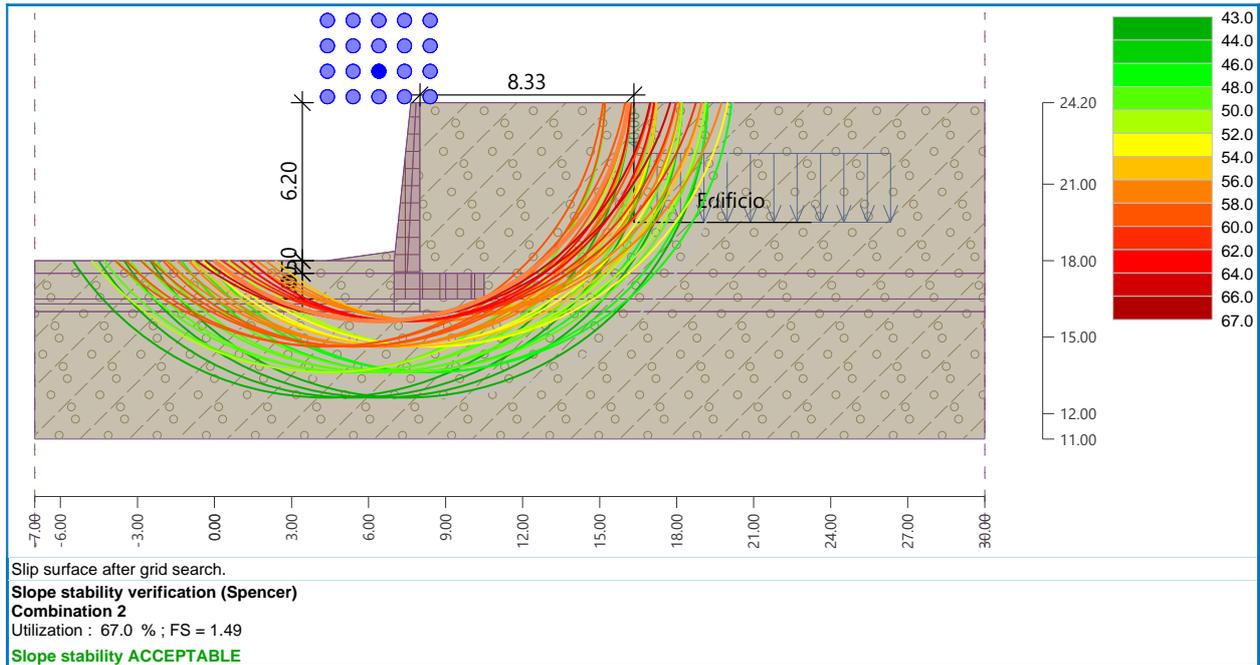


Figura 7.3 Sezione n.12 – situazione attuale statica.

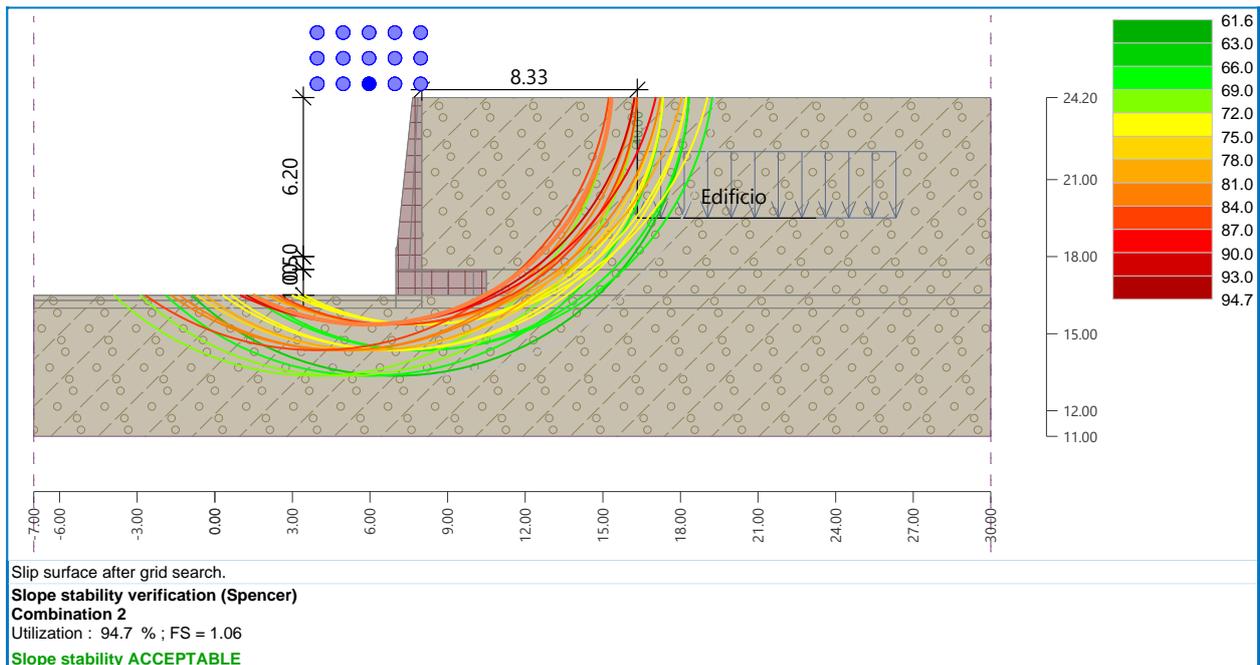


Figura 7.4 Sezione n.12 – situazione transitoria statica.

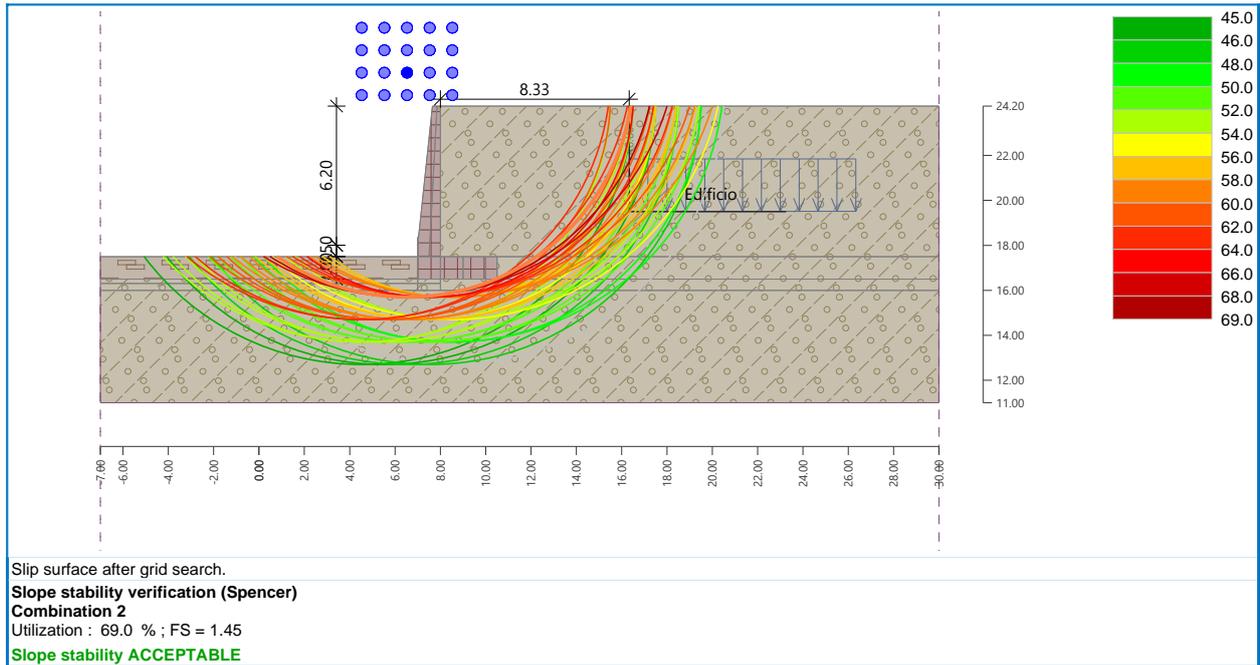


Figura 7.5 Sezione n.12 – situazione definitiva statica.

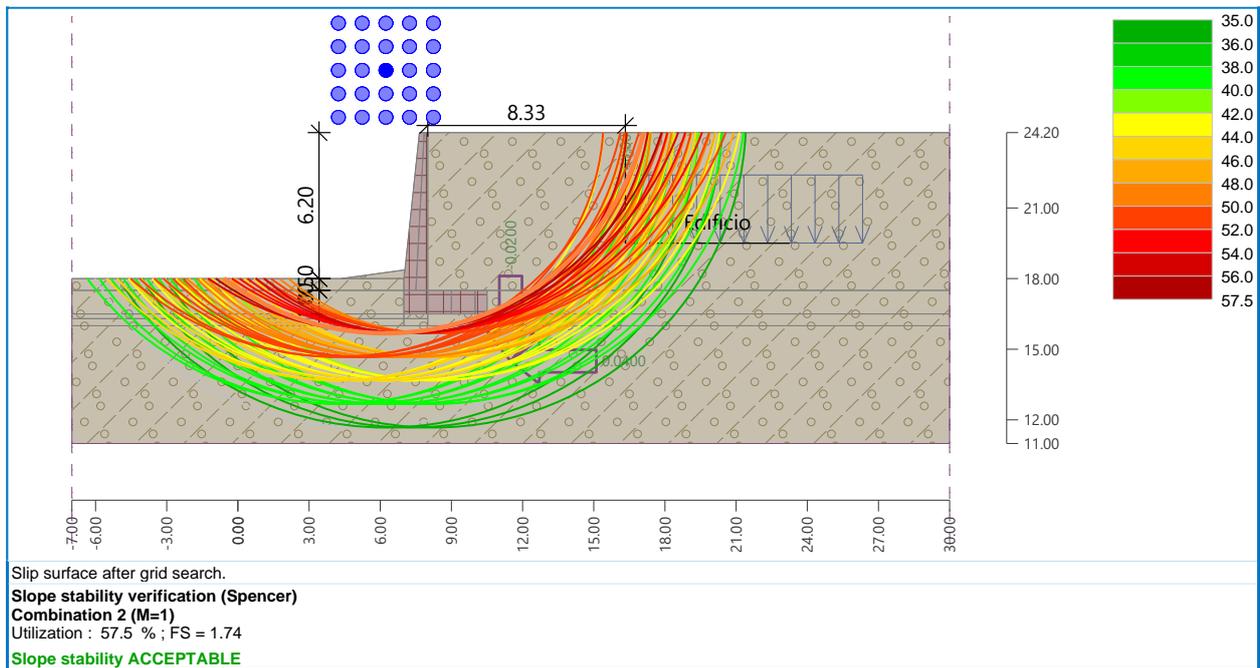


Figura 7.6 Sezione n.12 – situazione attuale sismica.

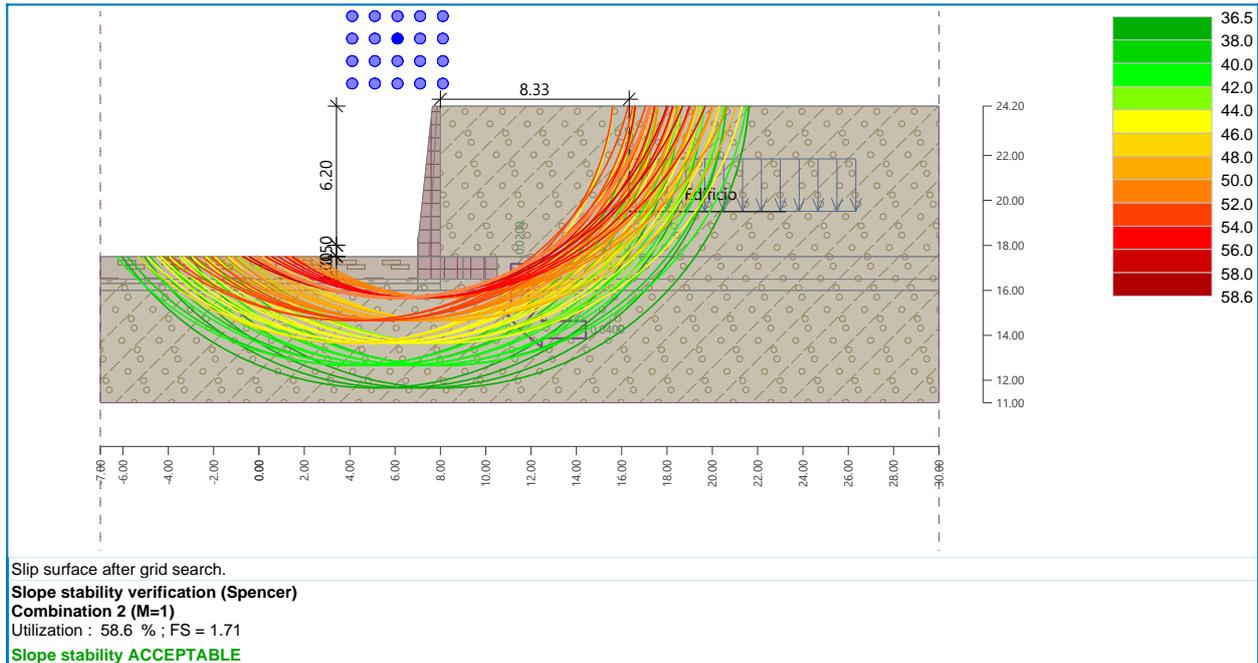


Figura 7.7 Sezione n.12 – situazione definitiva sismica.

Relativamente alla sezione n.12 l'analisi evidenzia per la situazione definitiva di progetto un fattore di sicurezza superiore al minimo di normativa, sia in condizioni statiche che sismiche. In fase transitoria il fattore di sicurezza risulta  $FS=1.06$ , superiore a 1 ma inferiore al valore di normativa 1.1. In tale ambito si ritiene che  $FS=1.06$ , sebbene di poco inferiore al valore di normativa, possa ritenersi accettabile in fase transitoria, dal momento che si prevede di procedere con lo scavo e la successiva posa del rivestimento in massi per sottocantieri.

### 7.2.2 Sezione n.14 – sponda sinistra

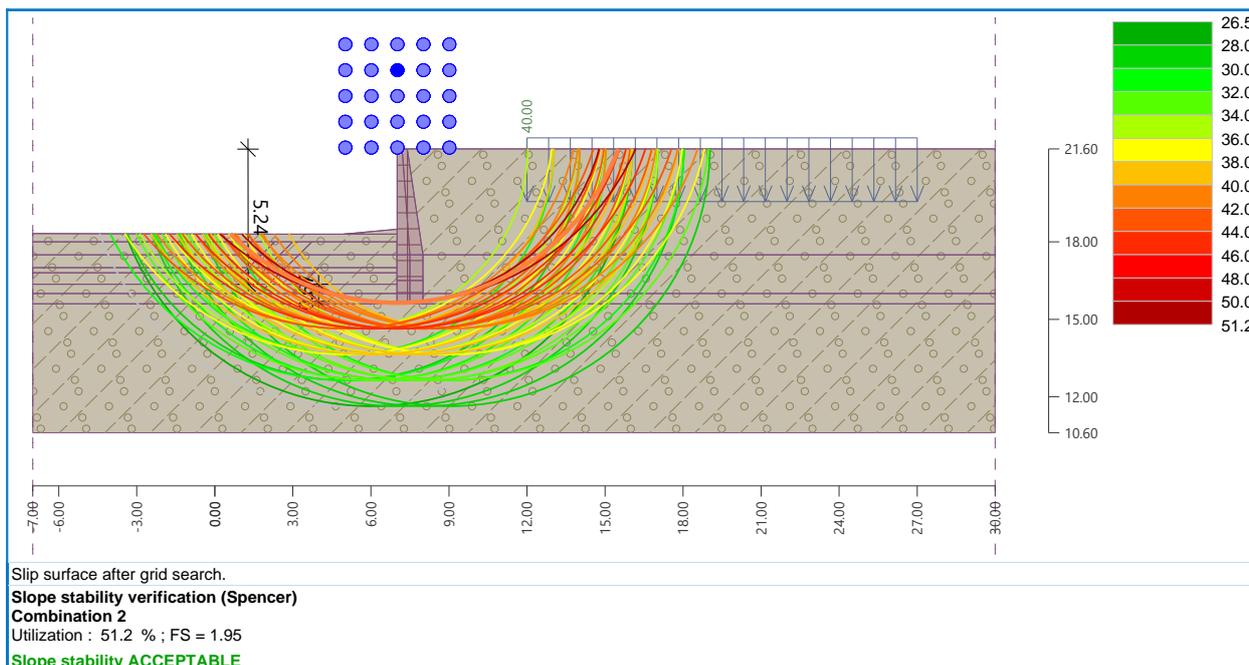


Figura 7.8 Sezione n. 14 – situazione attuale statica.

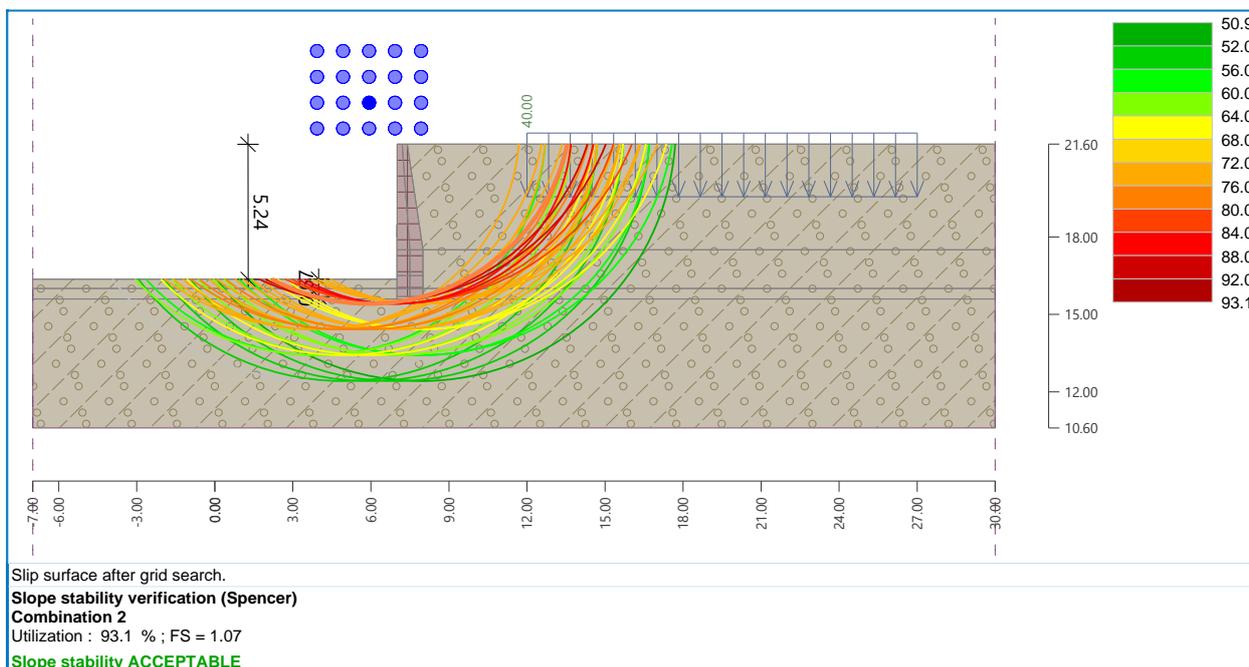


Figura 7.9 Sezione n. 14 – situazione transitoria statica.

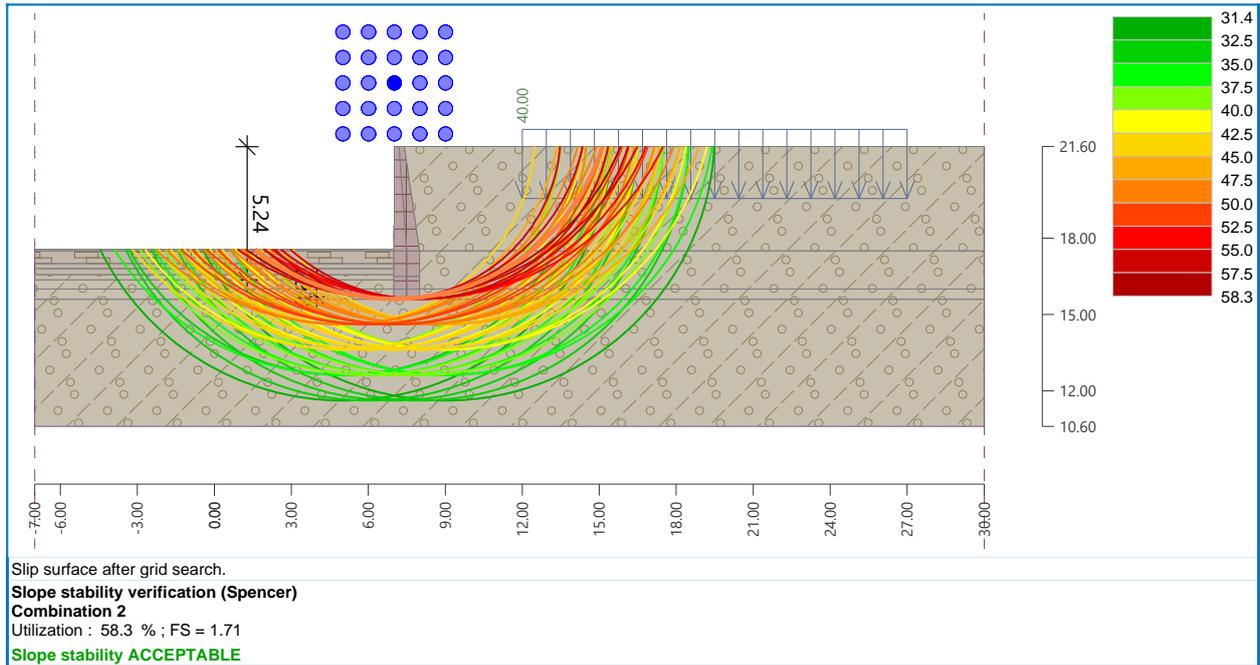


Figura 7.10 Sezione n.14 – situazione definitiva statica.

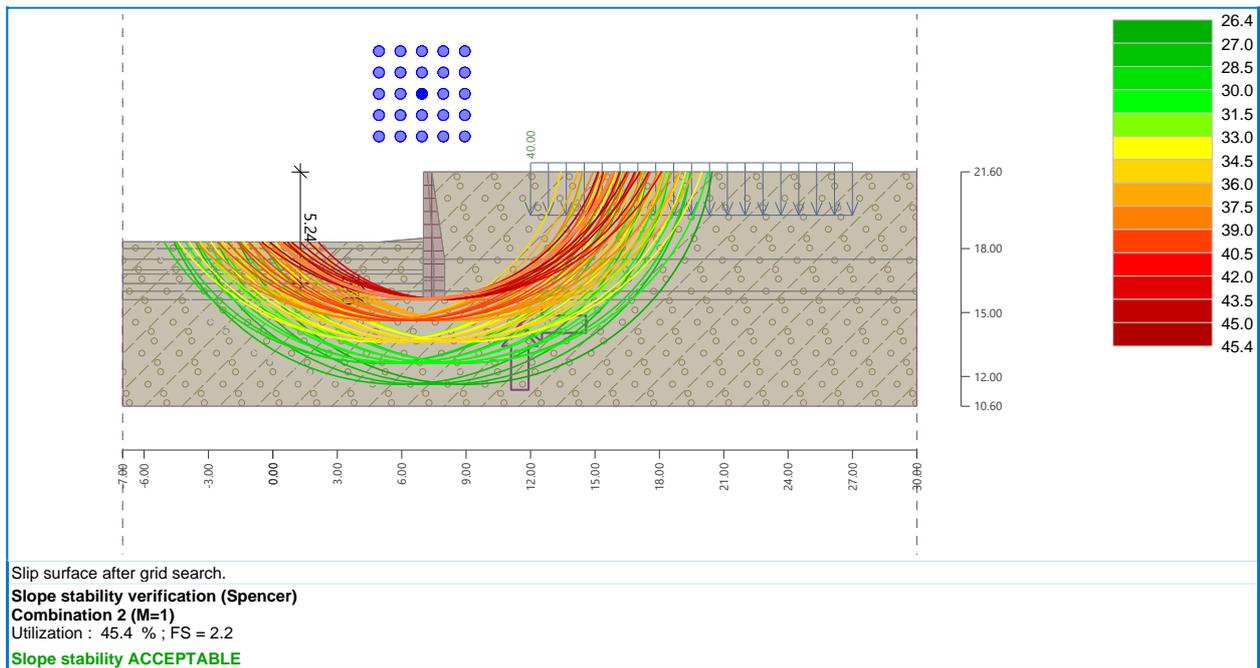


Figura 7.11 Sezione n.14 – situazione attuale sismica.

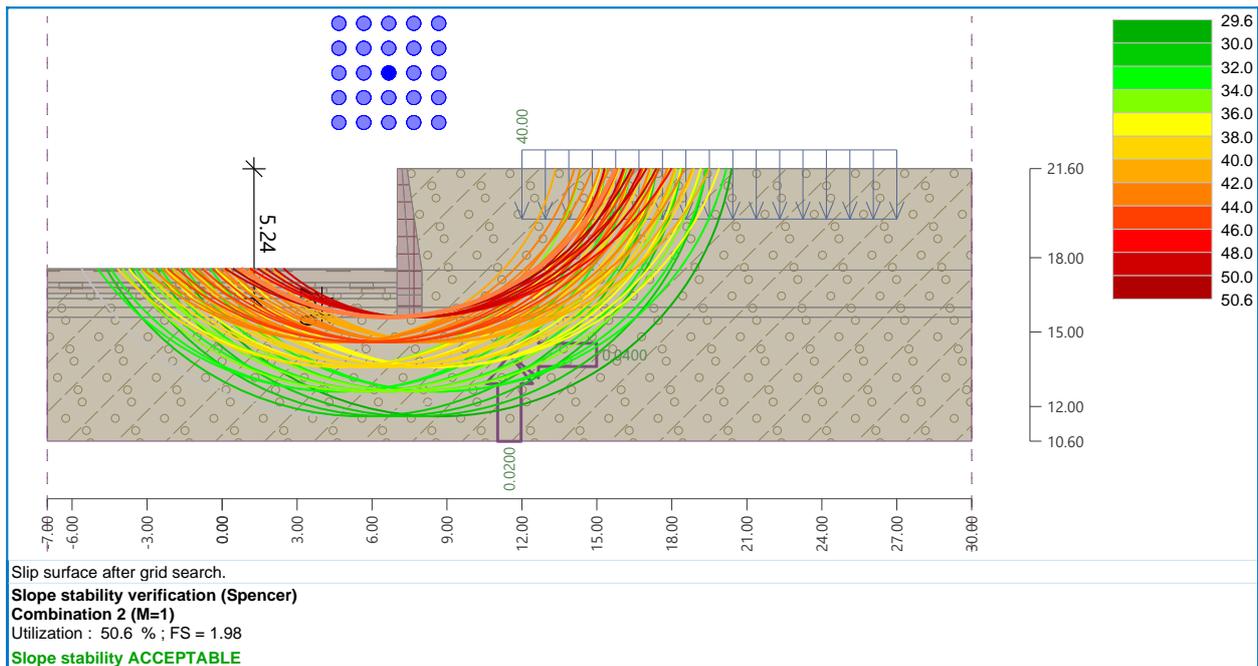


Figura 7.12 Sezione n.14 – situazione definitiva sismica.

Relativamente alla sezione n.14 l'analisi evidenzia per la situazione definitiva di progetto un fattore di sicurezza superiore al minimo di normativa, sia in condizioni statiche che sismiche. In fase transitoria il fattore di sicurezza risulta  $FS=1.07$ , superiore a 1 ma inferiore al valore di normativa 1.1. In tale ambito si ritiene che  $FS=1.07$ , sebbene di poco inferiore al valore di normativa, possa ritenersi accettabile in fase transitoria, dal momento che si prevede di procedere con lo scavo e la successiva posa del rivestimento in massi per sottocantieri.

### 7.2.3 Sezione n.19 – sponda destra

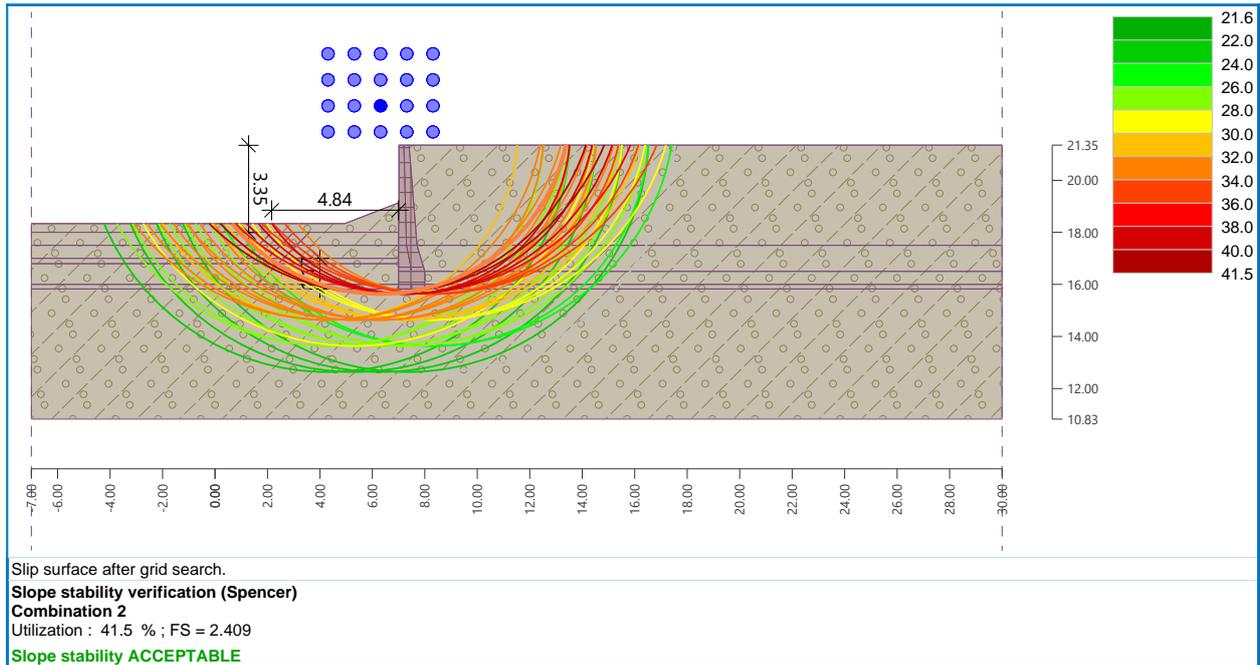


Figura 7.13 Sezione n.19 – situazione attuale statica.

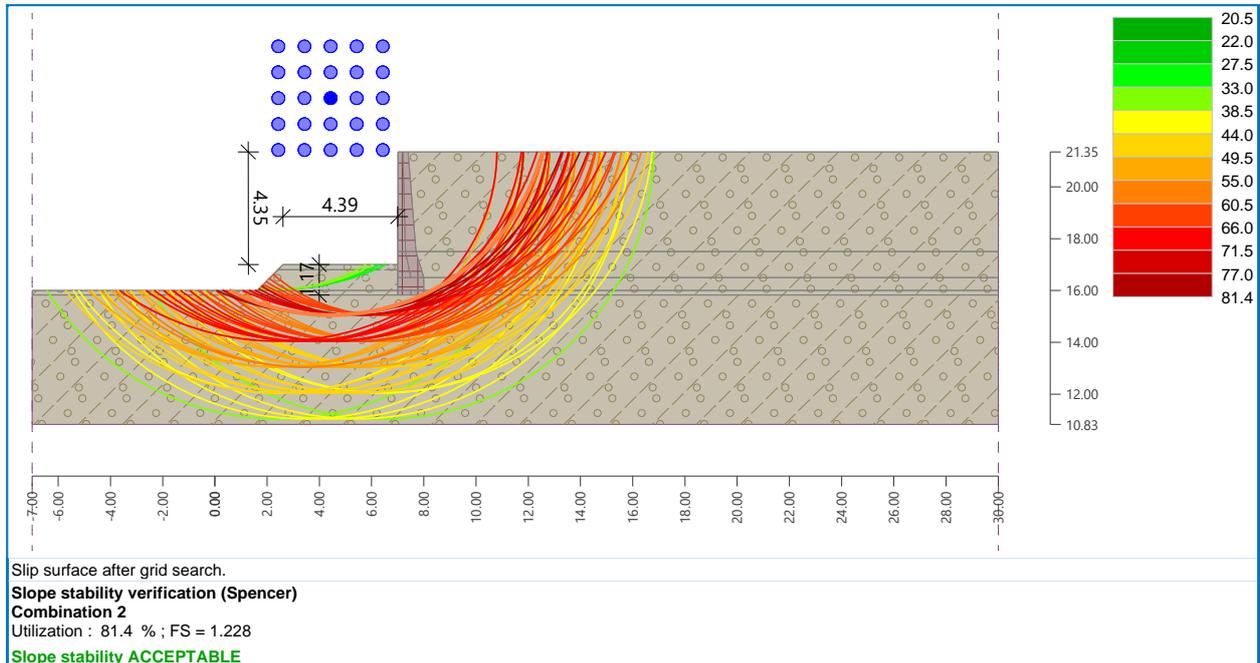


Figura 7.14 Sezione n.19 – situazione transitoria statica.

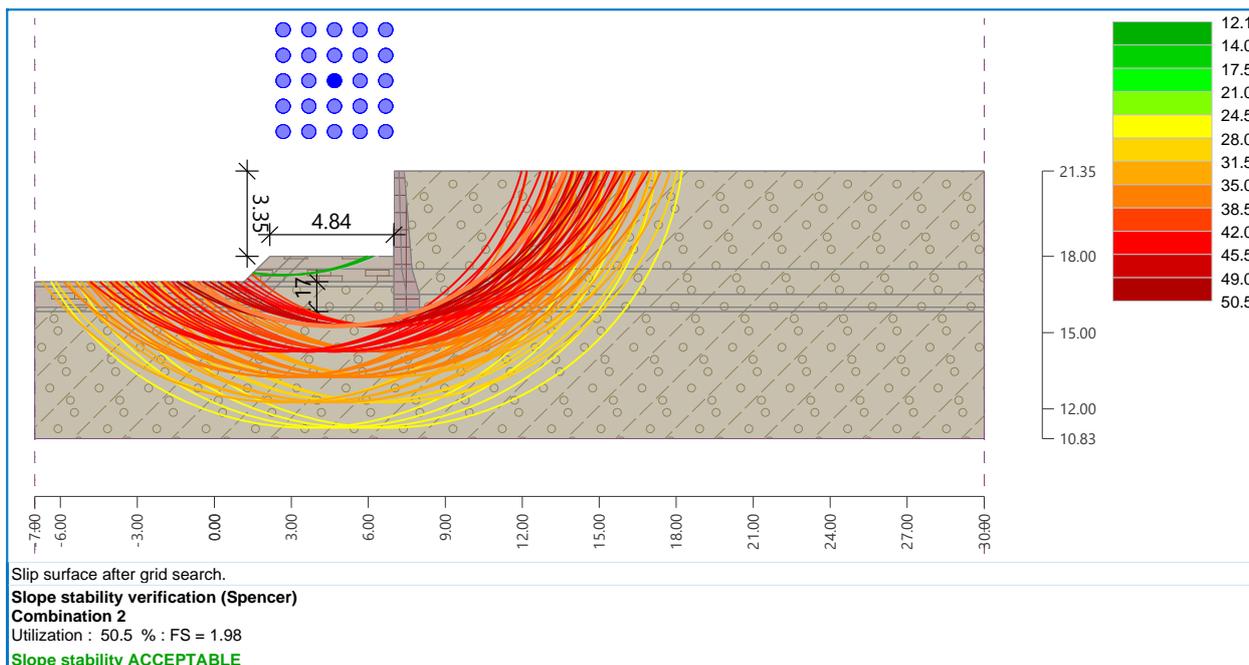


Figura 7.15 Sezione n.19 – situazione definitiva statica.

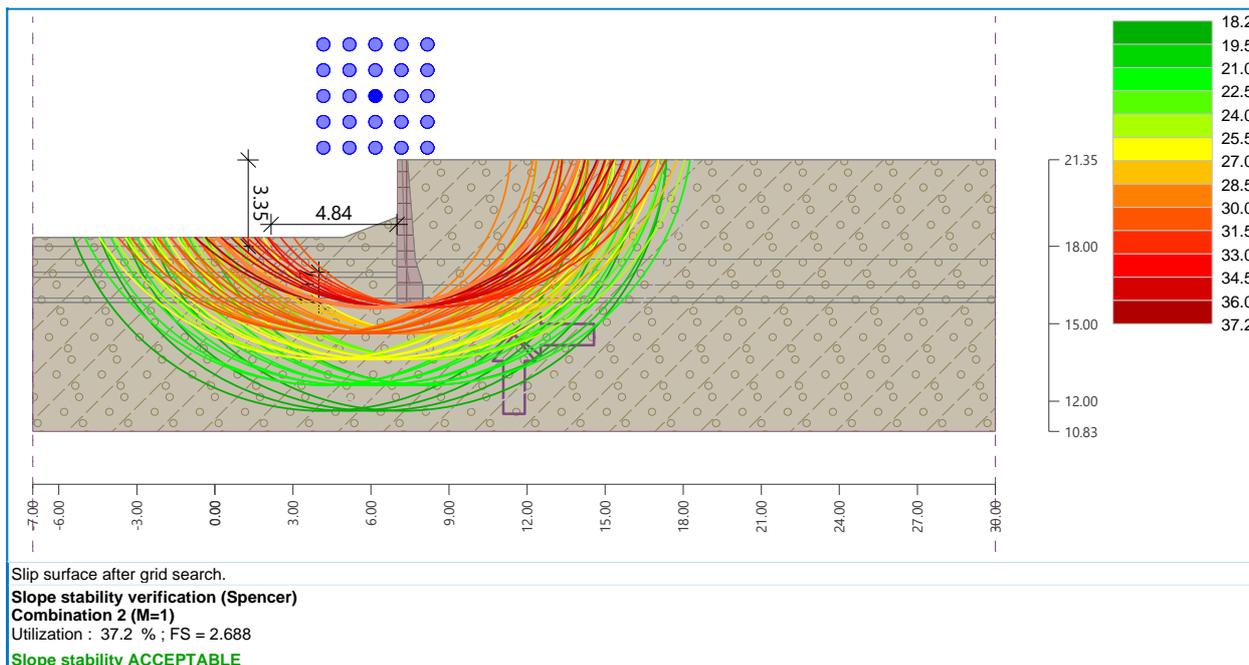


Figura 7.16 Sezione n.19 – situazione attuale sismica.

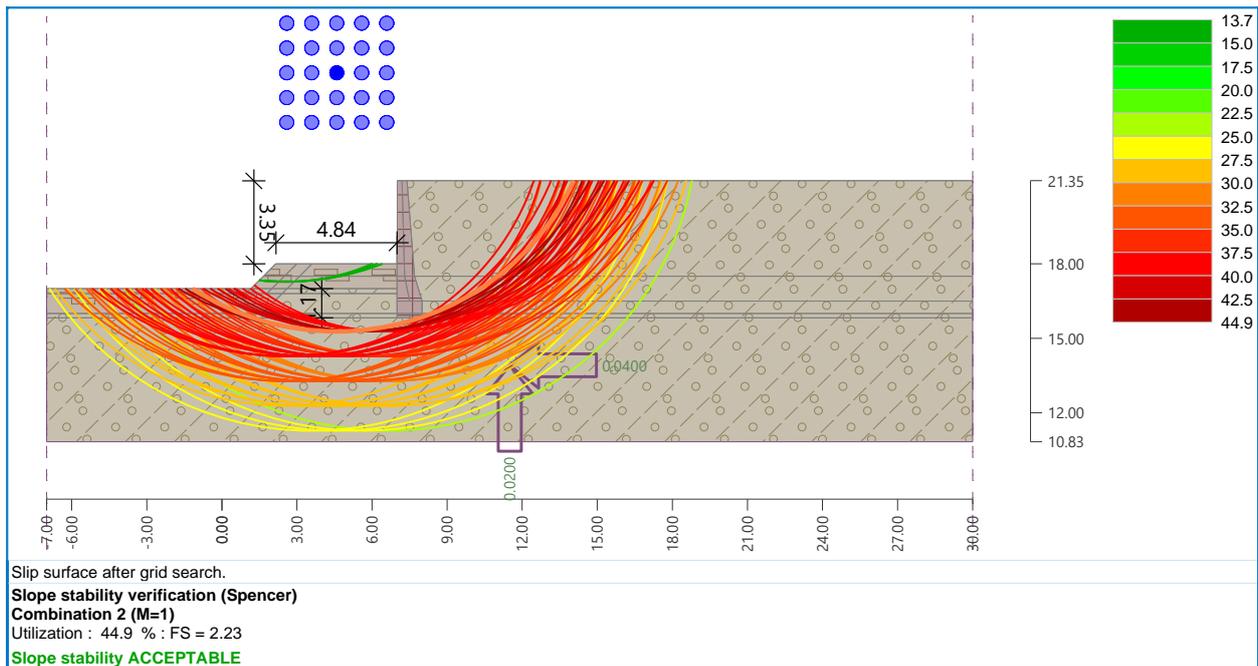
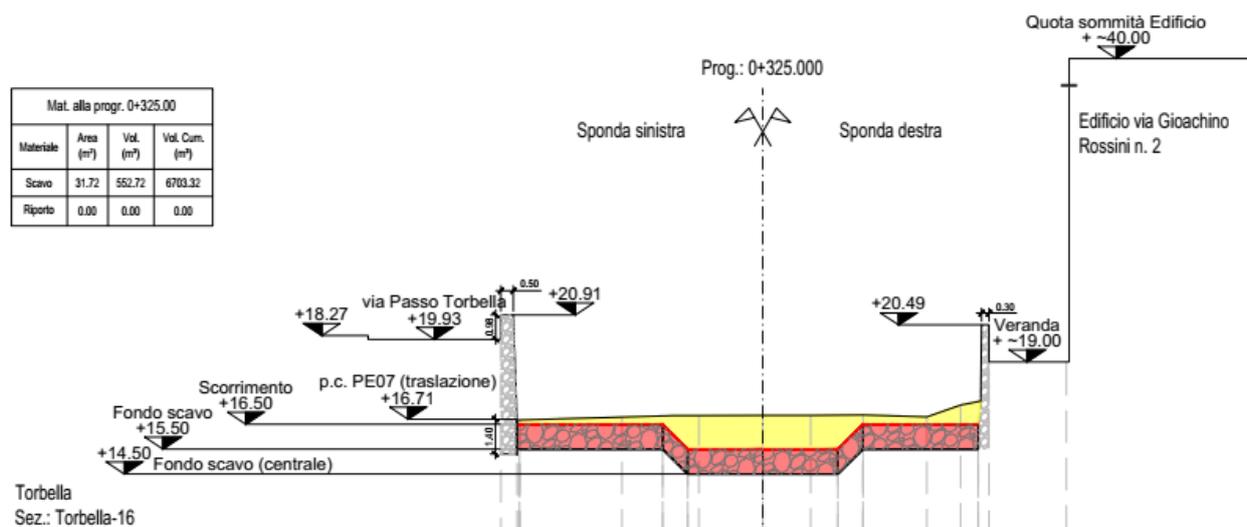


Figura 7.17 Sezione n.19 – situazione definitiva sismica.

Relativamente alla sezione n.19 l'analisi evidenzia sia per la fase transitoria che per la situazione definitiva di progetto (condizioni statiche e sismiche) un fattore di sicurezza superiore al minimo di normativa.

Un ulteriore approfondimento d'analisi è stato condotto sulla stabilità in fase transitoria del muro di sponda sinistra, lungo via Passo Torbella, tra le sezioni 16 e 20.



SEZIONE N.16 – analisi sponda sinistra.



Figura 7.18 Sezione n.16.

In tale ambito, visto la limitata conoscenza sia della profondità della fondazione del muro sia del suo stato di consistenza lungo l'intero sviluppo, si è considerata la realizzazione, lungo la base del muro a partire dalla quota di scavo, di una serie di micropali di consolidamento in cls C25/30 non armati (Ø250 mm, passo 30 cm) della lunghezza di 1.50 m. Nell'analisi ai micropali è stata attribuita una resistenza SLU-GEO  $V_{u1}=10.3$  kN/m, considerando per il cls C25/30 il valore  $f_{ctk}=2.19$  MPa. Di seguito si riportano i risultati dell'analisi di stabilità della sezione più gravosa, la n.16.

### 7.3 Analisi della stabilità delle sponde del torrente Torbella oggetto di interventi di protezione

Nelle seguenti Figura 7-19 e Figura 7-20 è riportato un inquadramento degli interventi di protezione delle opere spondali esistenti del torrente Torbella.

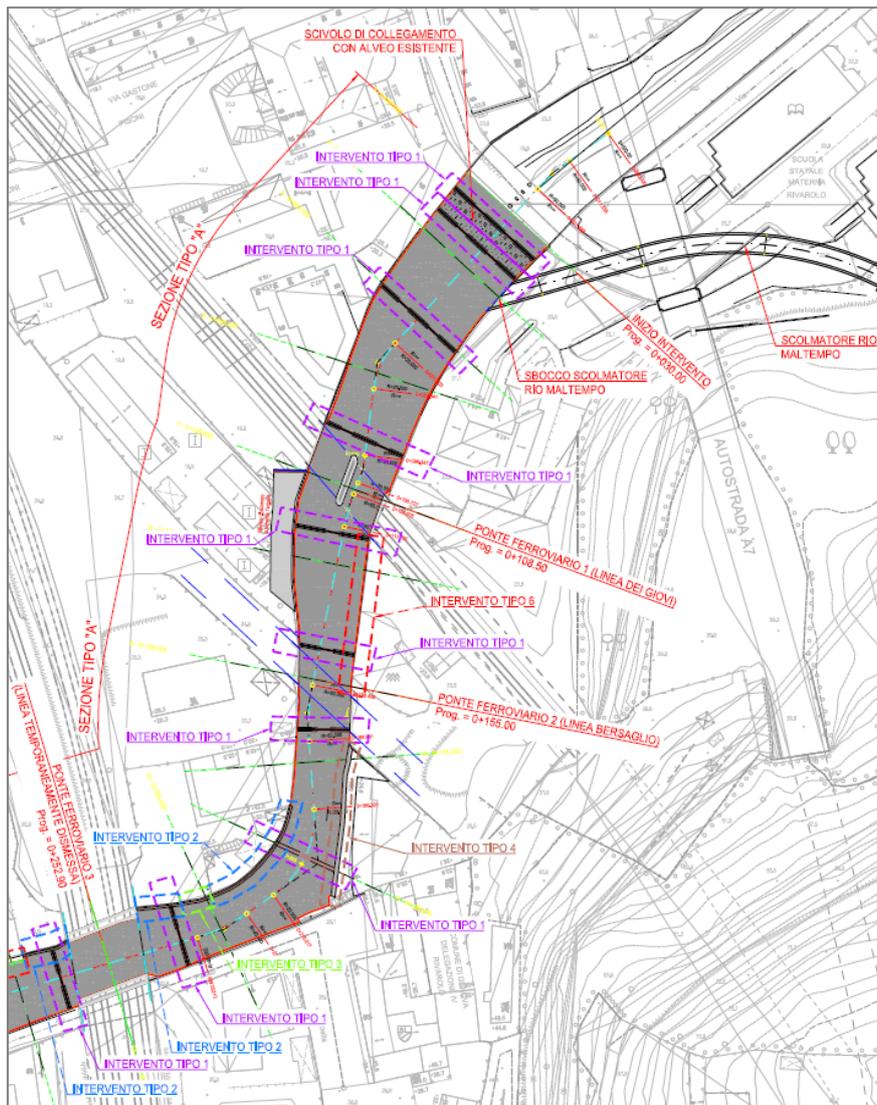


Figura 7-19: Inquadramento degli interventi di protezione delle opere esistenti lungo il corso del torrente Torbella nel tratto di monte (rif. elaborato II151F-PD-STR-D070\_0)

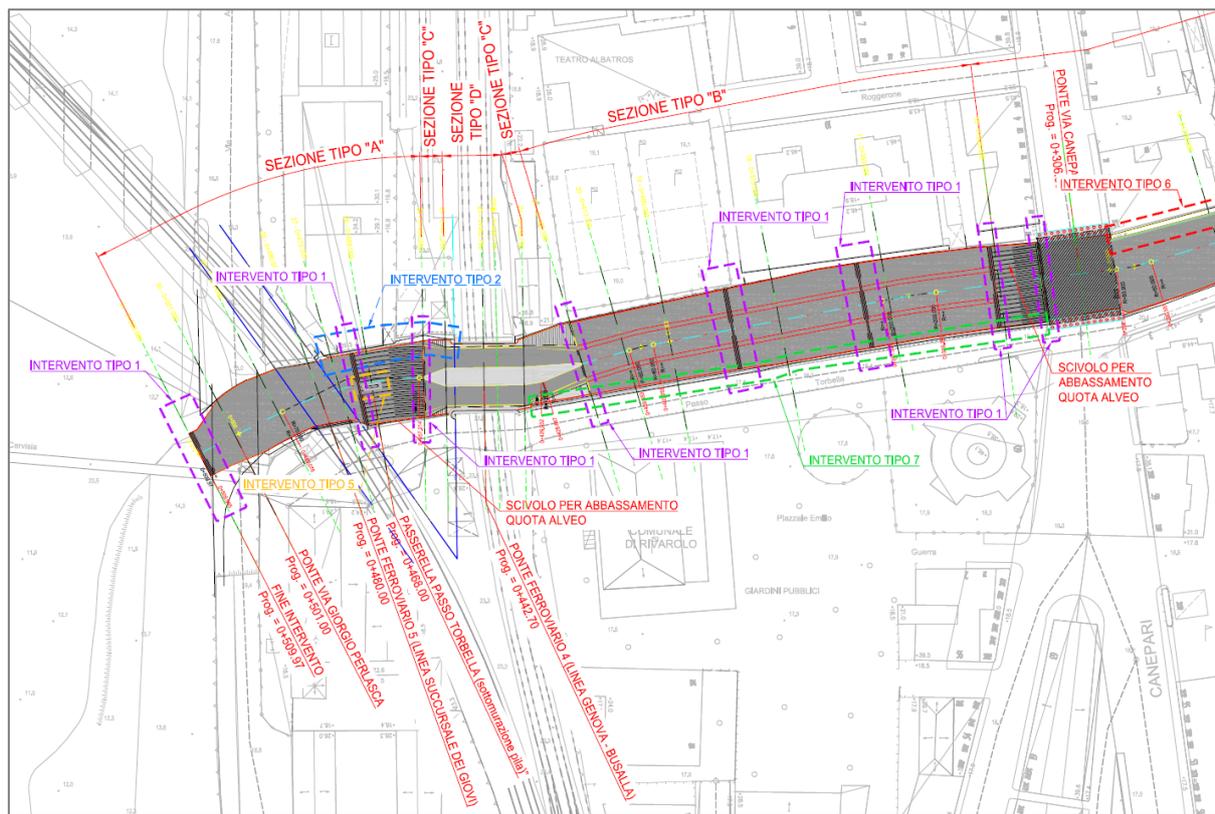


Figura 7-20: Inquadramento degli interventi di protezione delle opere esistenti lungo il corso del torrente Torbella nel tratto di monte (rif. elaborato II151F-PD-STR-D071\_0)

Si riporta nel seguito una descrizione degli interventi previsti a protezione delle opere spondali del torrente Torbella, suddivisi per intervento tipo:

1. Intervento tipo 1: inserimento di taglioni trasversali ogni circa 30 m ed in sezioni specifiche, quali quelle a monte e valle delle opere di attraversamento esistenti e degli scivoli di raccordo del profilo di progetto;
2. Intervento tipo 2: sottomurazione di muri esistenti con fondazioni superficiali, costituita da una paratia di micropali, sulla cui trave di coronamento è fondato un muro addossato all'esistente;
3. Intervento tipo 3: sottomurazione di muri esistenti con fondazioni superficiali, costituita da una paratia di micropali, sulla cui trave di coronamento è fondato un muro addossato all'esistente. Tale intervento è localizzato in corrispondenza dell'attuale accesso all'alveo del torrente Torbella, che verrà sostituito dalla nuova rampa di accesso prevista nel parcheggio "Rivarolo – Pisoni". In questo caso il muro viene elevato fino alla quota del muro presente a monte e valle, in modo da uniformare la quota di sommità spondale.
4. Intervento tipo 4: sostituzione degli attuali gabbioni in sponda sinistra presenti nel tratto immediatamente a valle del ponte ferroviario della linea "Bersaglio";
5. Intervento tipo 5: rifacimento della pila in alveo della passerella privata di via Passo Torbella n. 2;
6. Intervento tipo 6: protezione opere spondali esistenti con paratia di micropali provvisoria.
7. Intervento tipo 7: protezione opere spondali esistenti con paratia di micropali provvisoria non armata

Nella relazione si riportano le verifiche delle sezioni interessate dalla costruzione di berlinesi di micropali



provvisori, per il sostegno temporaneo degli scavi necessari alla realizzazione del rivestimento definitivo, in massi non legati di 2° categoria, al piede di alcune opere presenti lungo il corso del torrente Torbella.

### 7.3.1 Intervento tipo 1 – Inserimento di taglioni trasversali

Per tutto lo sviluppo longitudinale dell'intervento di riprofilatura del torrente Torbella è stato previsto l'inserimento di taglioni in c.a. trasversali ogni circa 30 m ed in sezioni specifiche, quali quelle a monte e valle delle opere di attraversamento esistenti e degli scivoli di raccordo del profilo di progetto. I taglioni presentano una forma a "T" rovesciata e hanno lo scopo di aumentare la stabilità del rivestimento in massi non legati previsto per il fondo del torrente Torbella di progetto. Le caratteristiche di questi elementi sono riportati nella sezione longitudinale tipo logica di Figura 7-21.

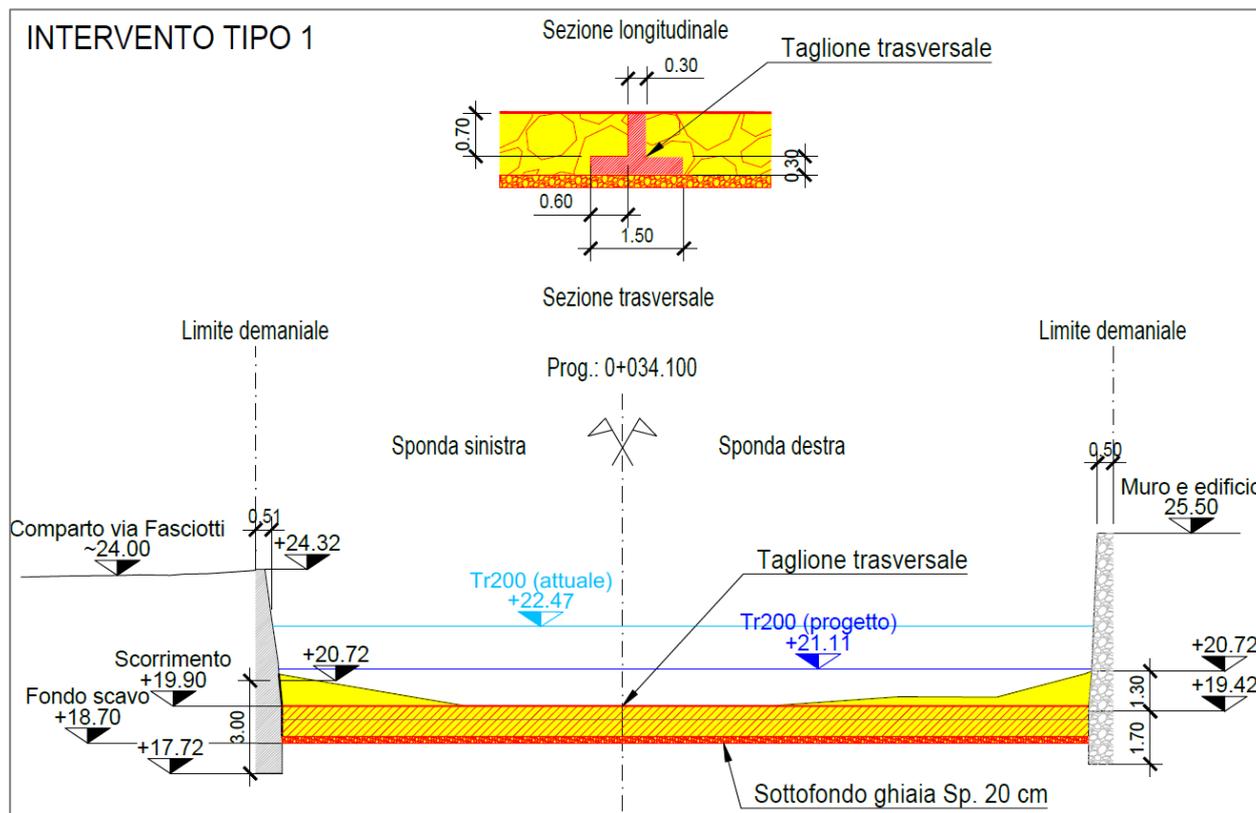


Figura 7-21: Sezione tipo in cui è previsto l'inserimento di un taglione trasversale (intervento tipo 1)

### 7.3.2 Intervento tipo 2 – Nuovi muri a protezione dei muri di sponda attuali

L'intervento tipo 2 viene previsto nei casi in cui le opere spondali presentano allo stato attuale fondazioni superficiali, che sulla base delle valutazioni geotecniche non sono state ritenute sufficienti a garantire la stabilità dell'opera esistente. Per questo motivo, viene prevista la realizzazione di una paratia di micropali accostati al piede dell'opera, da inserire preliminarmente allo scavo della sezione, necessario alla posa del rivestimento previsto in progetto. Inoltre, a partire dalla sommità della trave di coronamento della paratia, viene realizzato un muro addossato a quello esistente, con lo scopo di proteggere l'opera presente allo stato attuale e costituire la sponda del nuovo alveo.

Le sezioni oggetto di tale intervento sono le seguenti:

- sezione n. 11 destra idrografica



- sezione n. 12 destra idrografica
- sezione n. 25 destra idrografica

I principali risultati riferiti alle condizioni SLU-STR e SLE per ogni sezione sono riportati in forma grafica, in termini di diagrammi degli spostamenti, del momento flettente e del taglio. Per quanto riguarda lo stato limite ultimo geotecnico (SLU-GEO) si riportano le verifiche della resistenza al piede.

Si evidenzia che tutte le berlinesi sono costituite da micropali della lunghezza di 8 m e diametro Ø250 mm, armati con tubo 168.3 sp. 8 mm (S355) e caratterizzati da un interasse di 0.40 m. Inoltre, gli scavi ed i successivi rivestimenti in massi non legati di 2° categoria dovranno essere eseguiti per sottocantieri caratterizzati da un avanzamento per conci di 3 m al massimo.

### Materials and standards

Concrete structures :	EN 1992-1-1 (EC2)
Coefficients EN 1992-1-1 :	standard
Steel structures :	EN 1993-1-1 (EC3)
Partial factor on bearing capacity of steel cross section :	$\gamma_{M0} = 1.05$
Timber structures :	EN 1995-1-1 (EC5)
Partial factor for timber property :	$\gamma_M = 1.30$
Modif. factor of load duration and moisture content :	$k_{mod} = 0.50$
Coeff. of effective width for shear stress :	$k_{Cr} = 0.67$

### Pressure analysis

Verification methodology :	according to EN 1997
Active earth pressure calculation :	Coulomb
Passive earth pressure calculation :	Caquot-Kerisel
Analysis method :	dependent pressures
Earthquake analysis :	Mononobe-Okabe
Modulus of subsoil reaction :	standard
Design approach :	1 - reduction of actions and soil parameters



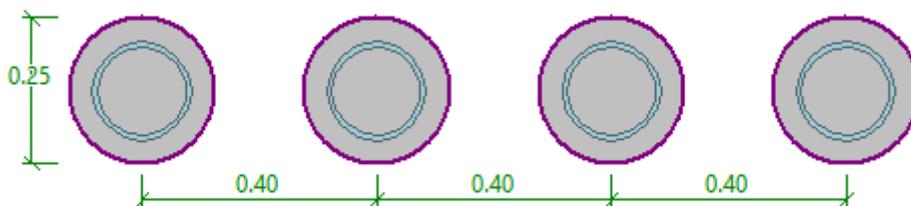
Partial factors on actions (A)							
Permanent design situation							
		Combination 1			Combination 2		
		Unfavourable		Favourable	Unfavourable		Favourable
Permanent actions :	$\gamma_G =$	1.30	[-]	1.00	[-]	1.00	[-]
Variable actions :	$\gamma_Q =$	1.50	[-]	0.00	[-]	1.30	[-]
Water load :	$\gamma_w =$	1.30	[-]			1.00	[-]

Partial factors for soil parameters (M)					
Permanent design situation					
		Combination 1		Combination 2	
Partial factor on internal friction :	$\gamma_\phi =$	1.00	[-]	1.25	[-]
Partial factor on effective cohesion :	$\gamma_c =$	1.00	[-]	1.25	[-]
Partial factor on undrained shear strength :	$\gamma_{cu} =$	1.00	[-]	1.40	[-]
Partial factor on Poisson's ratio :	$\gamma_v =$	1.00	[-]	1.00	[-]

**Geometry of structure**

Structure length = 8.00 m

Cross-section name : Pile curtain d = 0.25 m, a = 0.40 m, MSH 168.3 x 8.0



Material of pile : concrete

Correction factor for concrete  $K_c = 1.00$

Computed coefficient of pressure reduction below the ditch = 1.00

Area of cross-section  $A = 1.83E-01 \text{ m}^2/\text{m}$

Moment of inertia  $I = 6.74E-04 \text{ m}^4/\text{m}$

**Material of structure**



Analysis of concrete structures carried out according to the standard EN 1992-1-1 (EC2).

#### Concrete: C 20/25

Cylinder compressive strength  $f_{ck} = 20.00$  MPa

Tensile strength  $f_{ctm} = 2.20$  MPa

Elasticity modulus  $E_{cm} = 30000.00$  MPa

Shear modulus  $G = 12500.00$  MPa

#### Structural steel: EN 10248-1 : S 355 GP

Yield strength  $f_y = 355.00$  MPa

Elasticity modulus  $E = 210000.00$  MPa

Shear modulus  $G = 81000.00$  MPa

#### Modulus of reaction

Modulus of subsoil reaction is computed by method Schmitt.

#### Basic soil parameters

No.	Name	Pattern	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{su}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\delta$ [°]
1	Alluvioni (AA/AM)		31.00	0.00	19.00	9.00	31.00

All soils are considered as cohesionless for at rest pressure analysis.



### Parameters of soils to compute modulus of subsoil reaction (Schmitt)

No.	Name	Pattern	$\nu$ [-]	$E_{oed}$ [MPa]	$E_{def}$ [MPa]
1	Alluvioni (AA/AM)		0.30	-	28.00

Ground water table is located below the structure.

### Global settings

Number of FEs to discretize wall = 100

Analysis of depending pressures : do not reduce

### Settings of the stage of construction

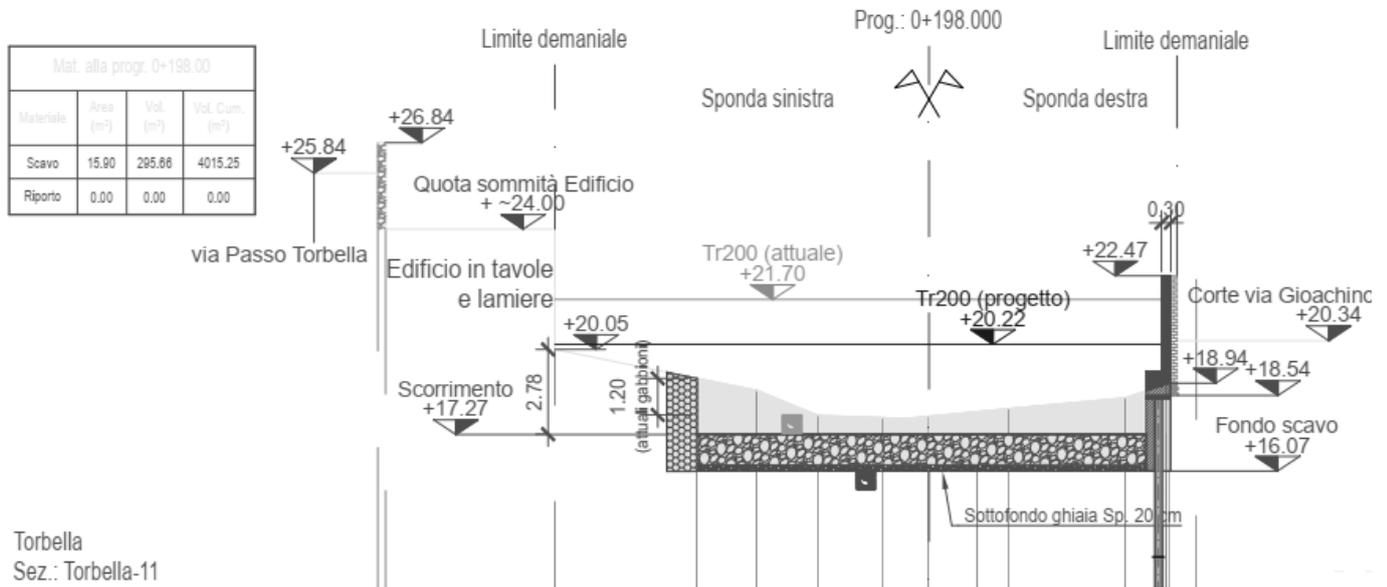
Design situation : permanent

### Caratteristiche profilo tubolare Ø168.3/8 mm

$D_e$	168.30	[mm]	acciaio	$f_{yk}$	e	classe
t	8.00	[mm]	[MPa]	355	0.81	1
$D_i$	152.30	[mm]	$\gamma_M$	1.05		
$D_e/t$	21.04		Peso	31.7	[kg/m]	
A	40.29	[cm <sup>2</sup> ]				
J	1297.27	[cm <sup>4</sup> ]				
i	5.67	[cm]				
$W_{el,yy}$	154.16	[cm <sup>3</sup> ]				
$W_{pl,yy}$	205.74	[cm <sup>3</sup> ]				
$A_v$	25.65	[cm <sup>2</sup> ]				
$N_{Rk}$	1430.22	[kN]	-	sforzo normale resistente caratteristico		
$N_{Rd}$	<b>1362.1</b>	<b>[kN]</b>	-	<b>sforzo normale resistente di progetto</b>		
$M_{Rk}$	73.0	[kNm]	-	momento resistente caratteristico		
$M_{Rd}$	<b>69.6</b>	<b>[kNm]</b>	-	<b>momento resistente di progetto</b>		
$V_{Rk}$	525.7	[kN]	-	taglio resistente caratteristico		
$V_{Rd}$	<b>500</b>	<b>[kN]</b>	-	<b>taglio resistente di progetto</b>		

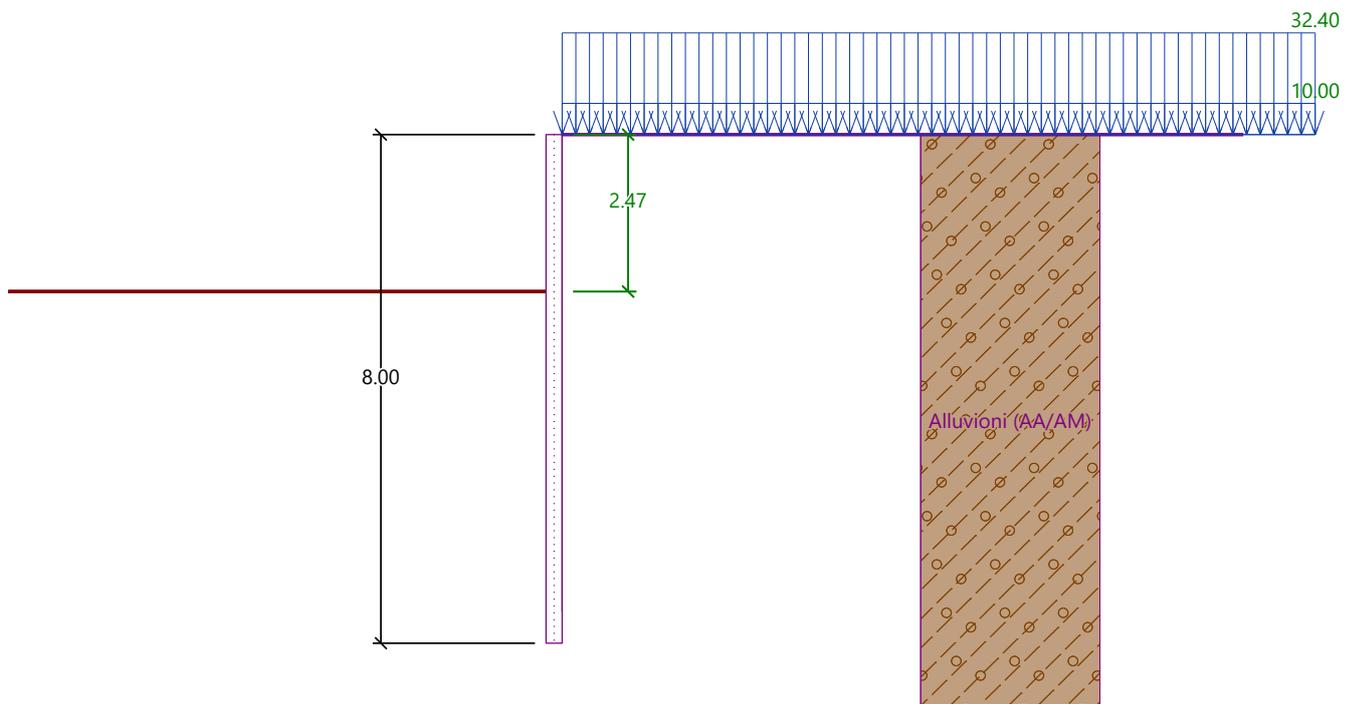


**Sezione n.11 destra idrografica**



Torbella  
 Sez.: Torbella-11

**Sezione n.11.**



**Schema di calcolo (sovraccarico permanente 32.4 kPa, variabile 10 kPa).**



## Verifica SLU-GEO

### Utilization of passive pressure

Maximum passive pressure  $R_{\max} = 1198.36 \text{ kN/m}$

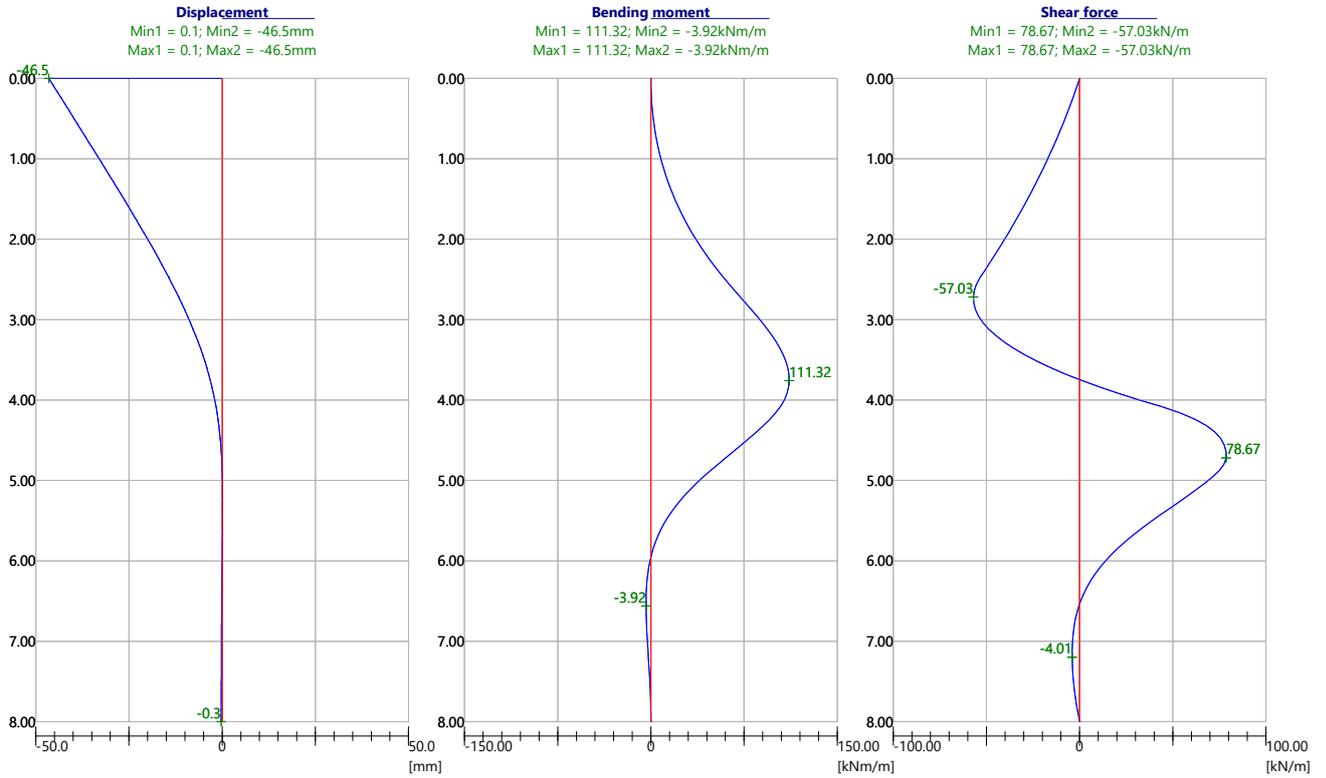
Mobilized passive pressure  $R_{\text{mob}} = 394.85 \text{ kN/m}$

Requested safety factor  $SF_p = 1.00 < 3.03$

Overall verification of passive pressure utilization is SATISFACTORY



**Verifica SLU-STR**



**Spostamenti e sollecitazioni (SLU-STR).**

**Verification of combined section according to EN 1994-1-1**

All construction stages are taken into the analysis.

Partial factor on load = 1.00

**Forces per one section**

$M_{max} = 44.53 \text{ kNm}; \quad Q = 0.59 \text{ kN}$   
 $Q_{max} = 31.47 \text{ kN}; \quad M = 24.06 \text{ kNm}$

**Verification of max. moment  $M_{max} + Q$ :**

**Verification of combined section (shear):**

$Q/V_{Rd} = 0.001 \leq 1$  **Is satisfactory**

**Verification of combined section (bending):**

$M_{max}/M_{pl,N,Rd} = 0.553 \leq 0.9$  **Is satisfactory**

**Verification of max. shear force  $Q_{max} + M$ :**

**Verification of combined section (shear):**

$Q_{max}/V_{Rd} = 0.061 \leq 1$  **Is satisfactory**

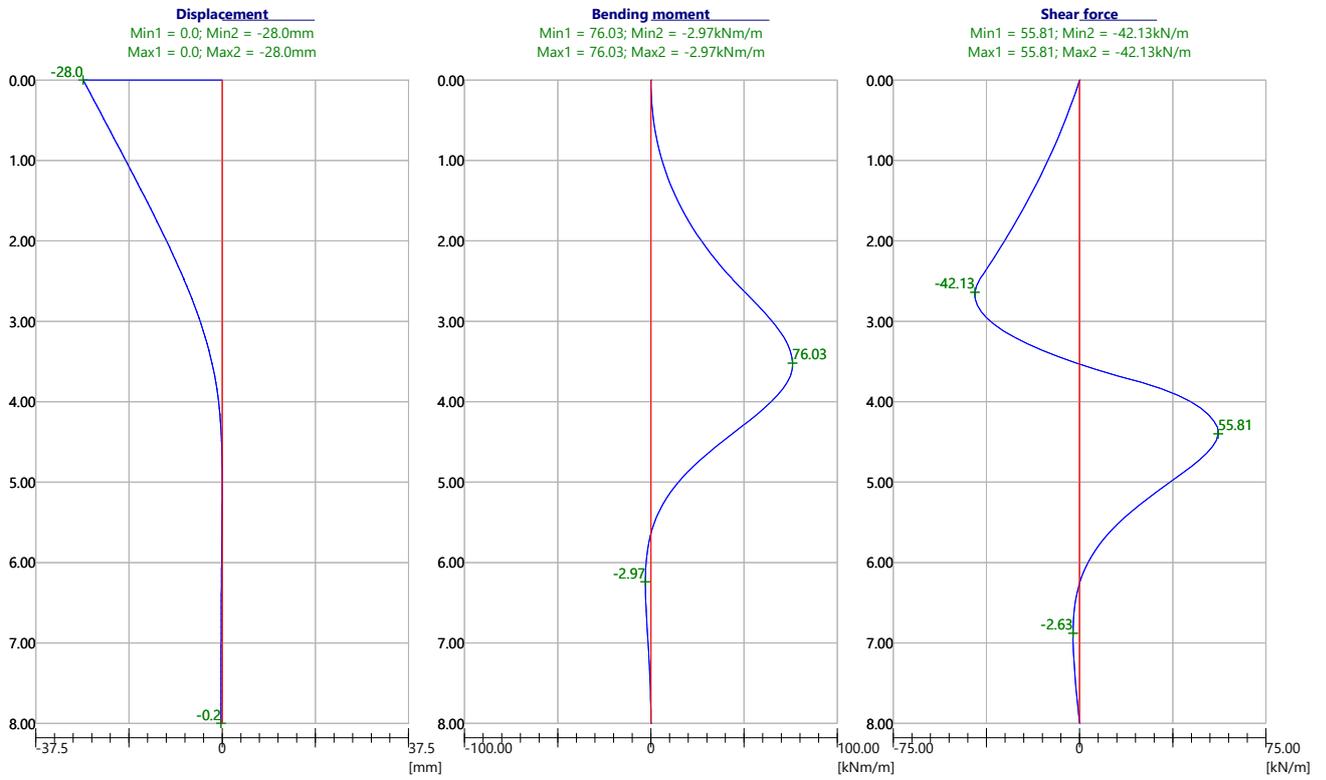
**Verification of combined section (bending):**

$M/M_{pl,N,Rd} = 0.299 \leq 0.9$  **Is satisfactory**

**Cross section is SATISFACTORY**

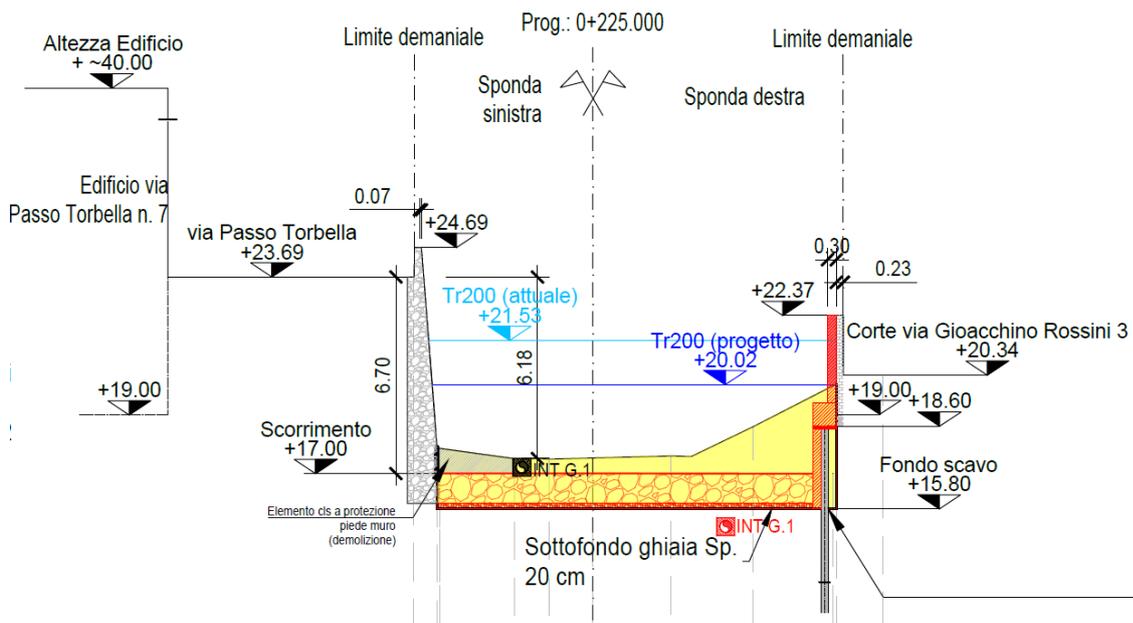


**Risultati SLE**

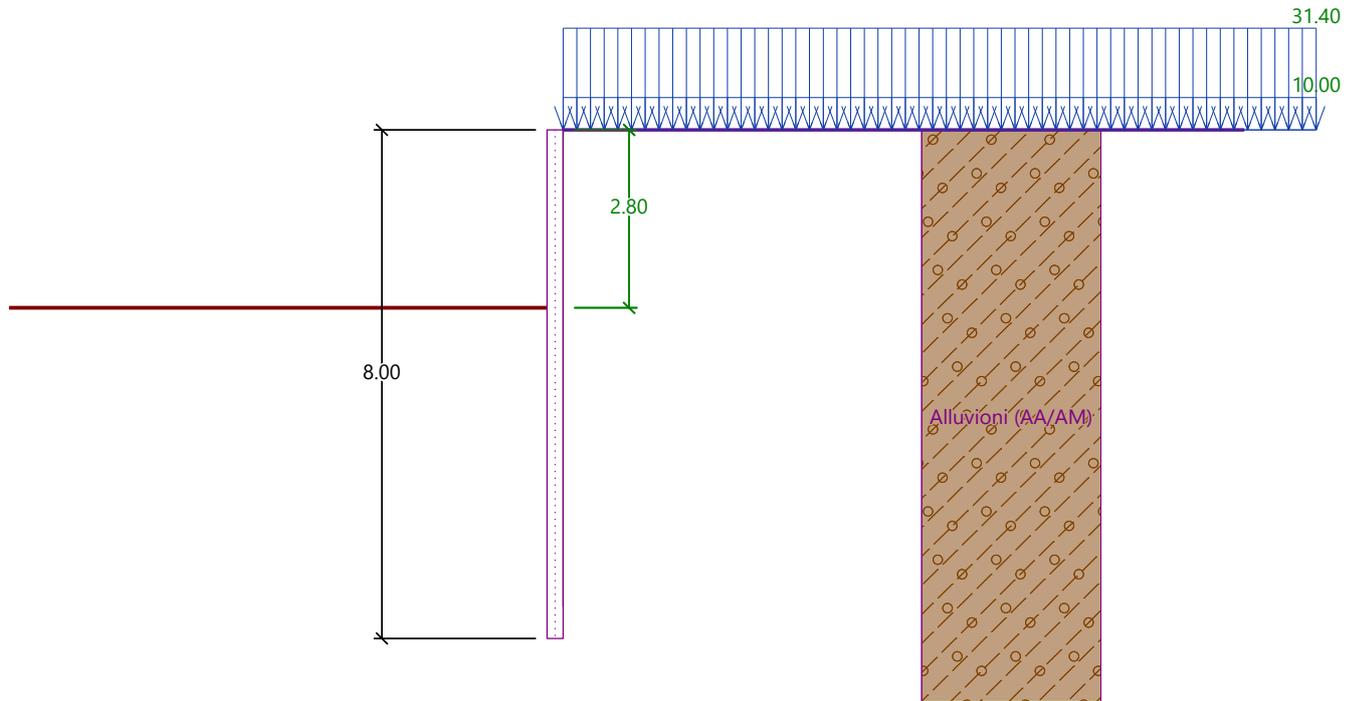


**Spostamenti e sollecitazioni (SLE).**

**Sezione n.12 destra idrografica**



**Sezione n.12.**



**Schema di calcolo (sovraccarico permanente 31.4 kPa, variabile 10 kPa).**

### Verifica SLU-GEO

#### Utilization of passive pressure

Maximum passive pressure  $R_{max} = 1059.61 \text{ kN/m}$

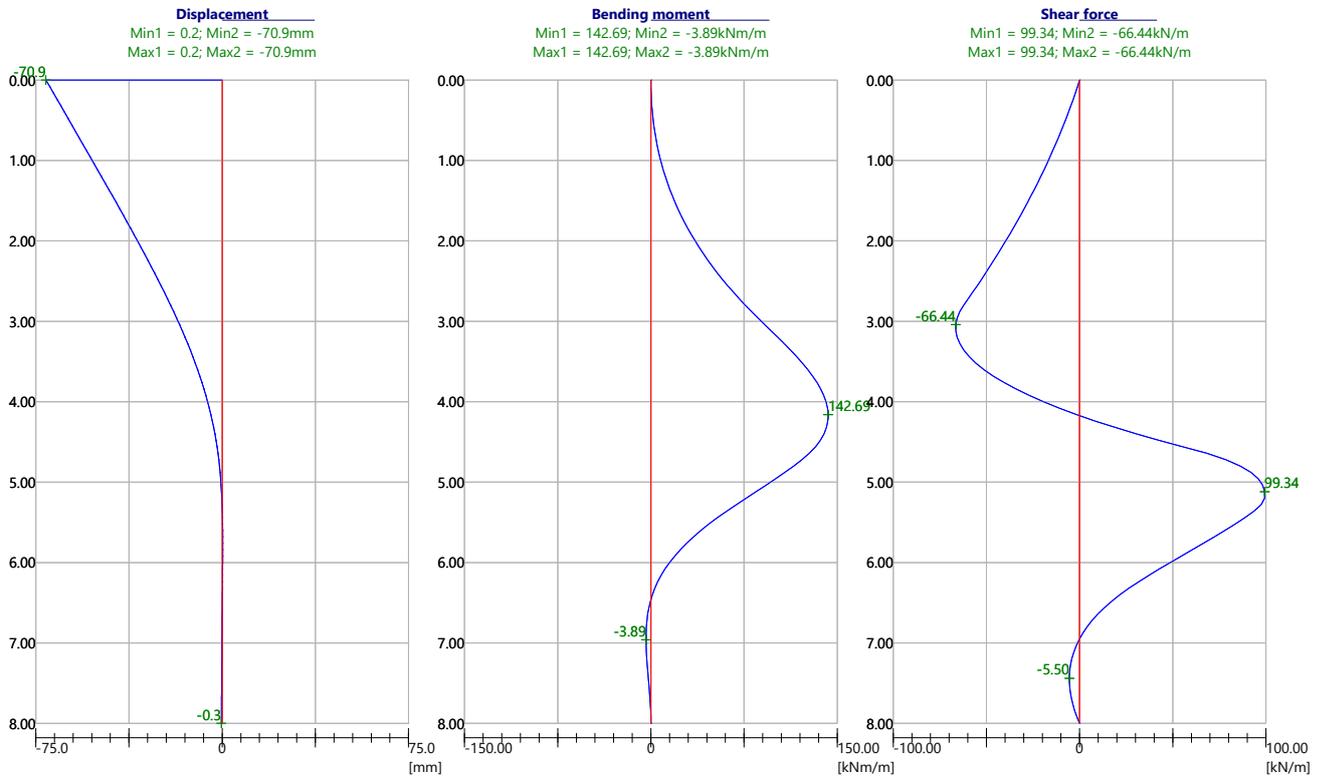
Mobilized passive pressure  $R_{mob} = 394.00 \text{ kN/m}$

Requested safety factor  $SF_p = 1.00 < 2.69$

Overall verification of passive pressure utilization is SATISFACTORY



### Verifica SLU-STR



### Spostamenti e sollecitazioni (SLU-STR).

#### Verification of combined section according to EN 1994-1-1

All construction stages are taken into the analysis.  
 Partial factor on load = 1.00

#### Forces per one section

$M_{max} = 57.08 \text{ kNm}; \quad Q = 0.64 \text{ kN}$   
 $Q_{max} = 39.74 \text{ kN}; \quad M = 33.84 \text{ kNm}$

#### Verification of max. moment $M_{max} + Q$ :

#### Verification of combined section (shear):

$Q/V_{Rd} = 0.001 \leq 1 \quad \text{Is satisfactory}$

#### Verification of combined section (bending):

$M_{max}/M_{pl,N,Rd} = 0.709 \leq 0.9 \quad \text{Is satisfactory}$

#### Verification of max. shear force $Q_{max} + M$ :

#### Verification of combined section (shear):

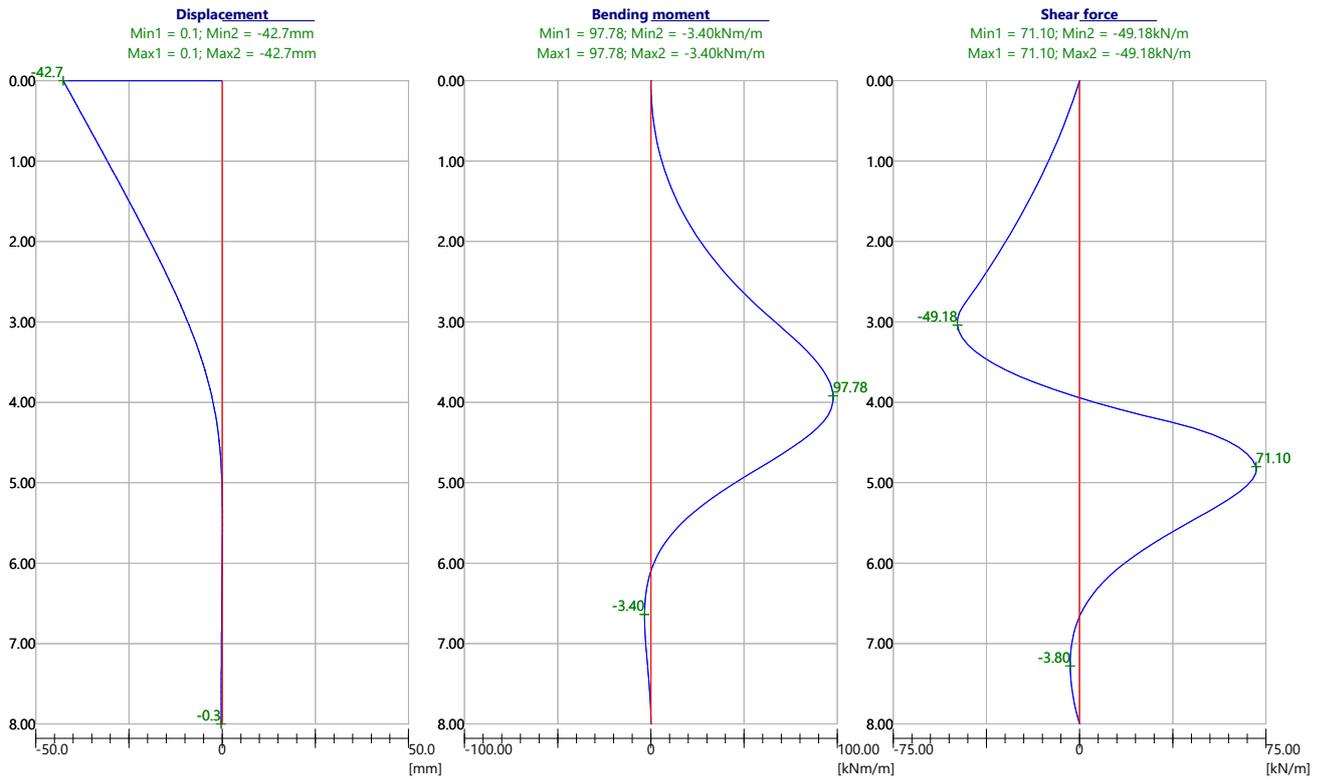
$Q_{max}/V_{Rd} = 0.076 \leq 1 \quad \text{Is satisfactory}$

#### Verification of combined section (bending):

$M/M_{pl,N,Rd} = 0.420 \leq 0.9 \quad \text{Is satisfactory}$

Cross section is SATISFACTORY

### Risultati SLE

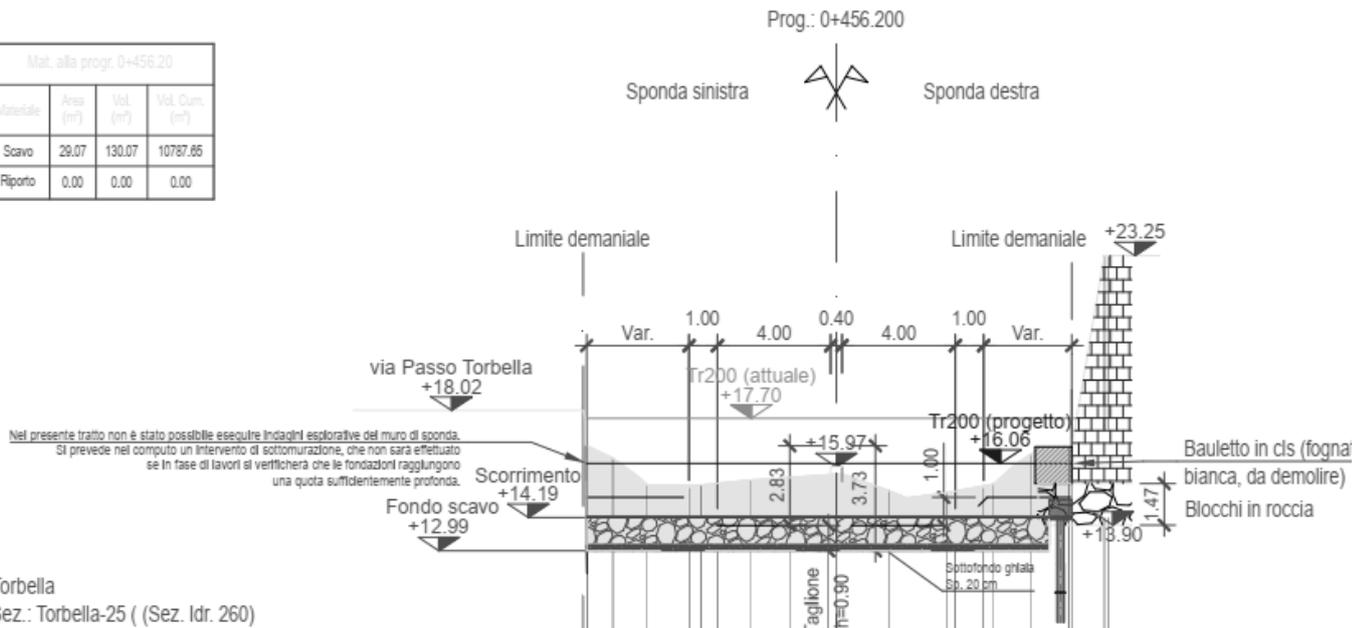


**Spostamenti e sollecitazioni (SLE).**

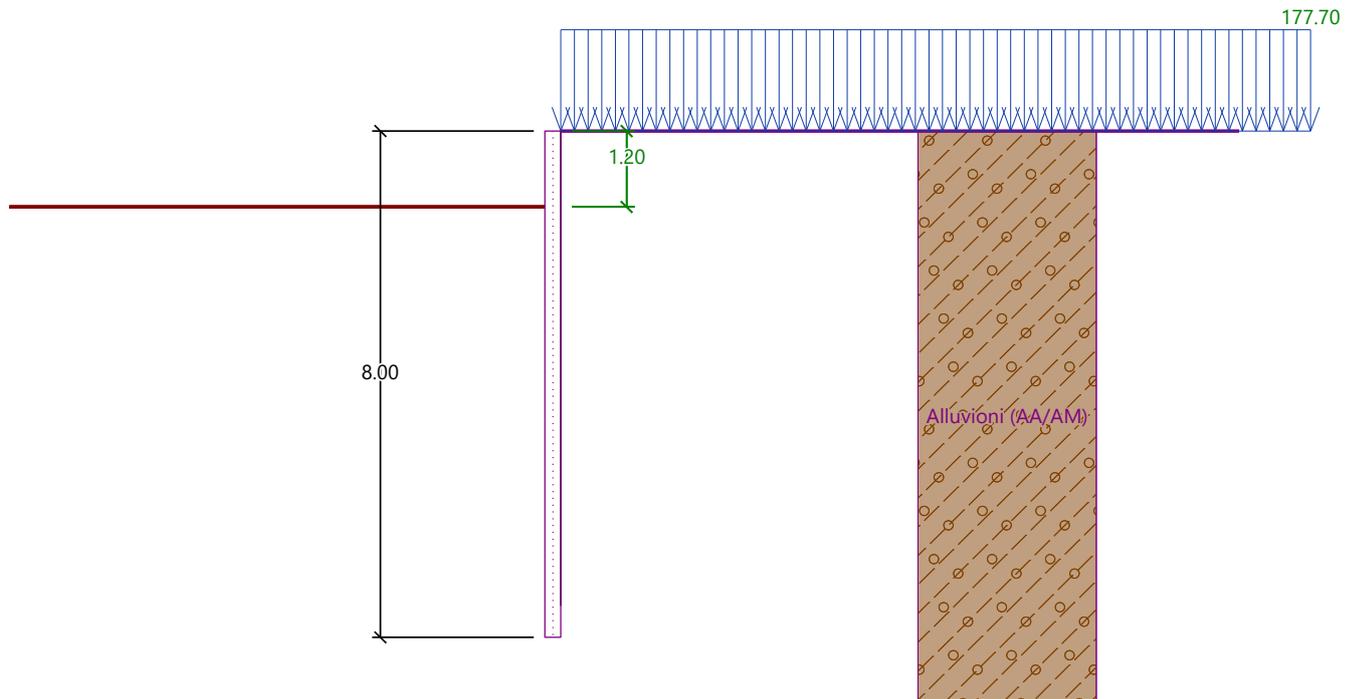
**Sezione n.25 destra idrografica**

Mat. alla progr. 0+456.20

Materiale	Area (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. Cum. (m <sup>3</sup> )
Scavo	29.07	130.07	10787.86
Riparto	0.00	0.00	0.00



**Sezione n.25.**



**Schema di calcolo (sovraccarico permanente 177.7 kPa).**

**Verifica SLU-GEO**

**Utilization of passive pressure**

Maximum passive pressure  $R_{max} = 1811.99 \text{ kN/m}$

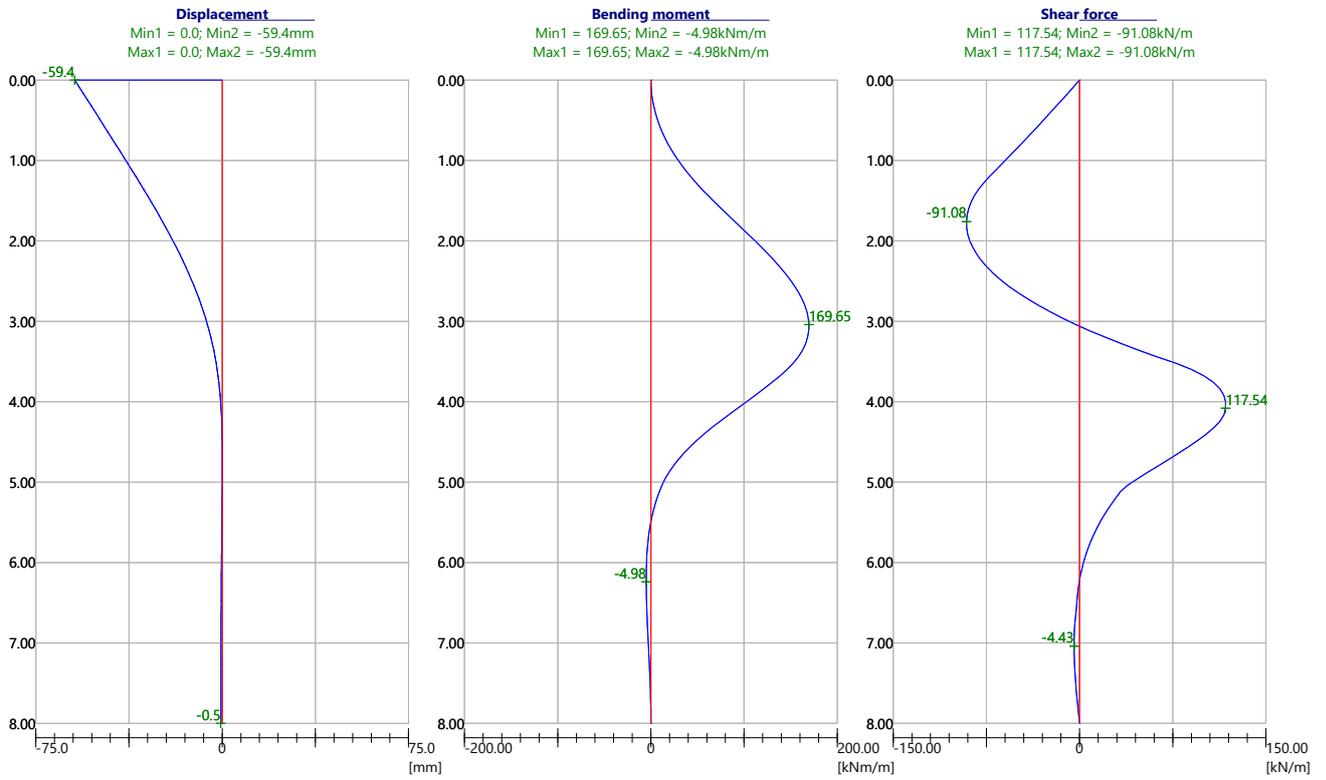
Mobilized passive pressure  $R_{mob} = 769.87 \text{ kN/m}$

Requested safety factor  $SF_p = 1.00 < 2.35$

Overall verification of passive pressure utilization is SATISFACTORY



**Verifica SLU-STR**



**Spostamenti e sollecitazioni (SLU-STR).**

**Verification of combined section according to EN 1994-1-1**

All construction stages are taken into the analysis.  
 Partial factor on load = 1.00

**Forces per one section**

$M_{max} = 67.86 \text{ kNm}; \quad Q = 1.18 \text{ kN}$   
 $Q_{max} = 47.02 \text{ kN}; \quad M = 37.28 \text{ kNm}$

**Verification of max. moment  $M_{max} + Q$ :**

**Verification of combined section (shear):**

$Q/V_{Rd} = 0.002 \leq 1 \quad \text{Is satisfactory}$

**Verification of combined section (bending):**

$M_{max}/M_{pl,N,Rd} = 0.843 \leq 0.9 \quad \text{Is satisfactory}$

**Verification of max. shear force  $Q_{max} + M$ :**

**Verification of combined section (shear):**

$Q_{max}/V_{Rd} = 0.090 \leq 1 \quad \text{Is satisfactory}$

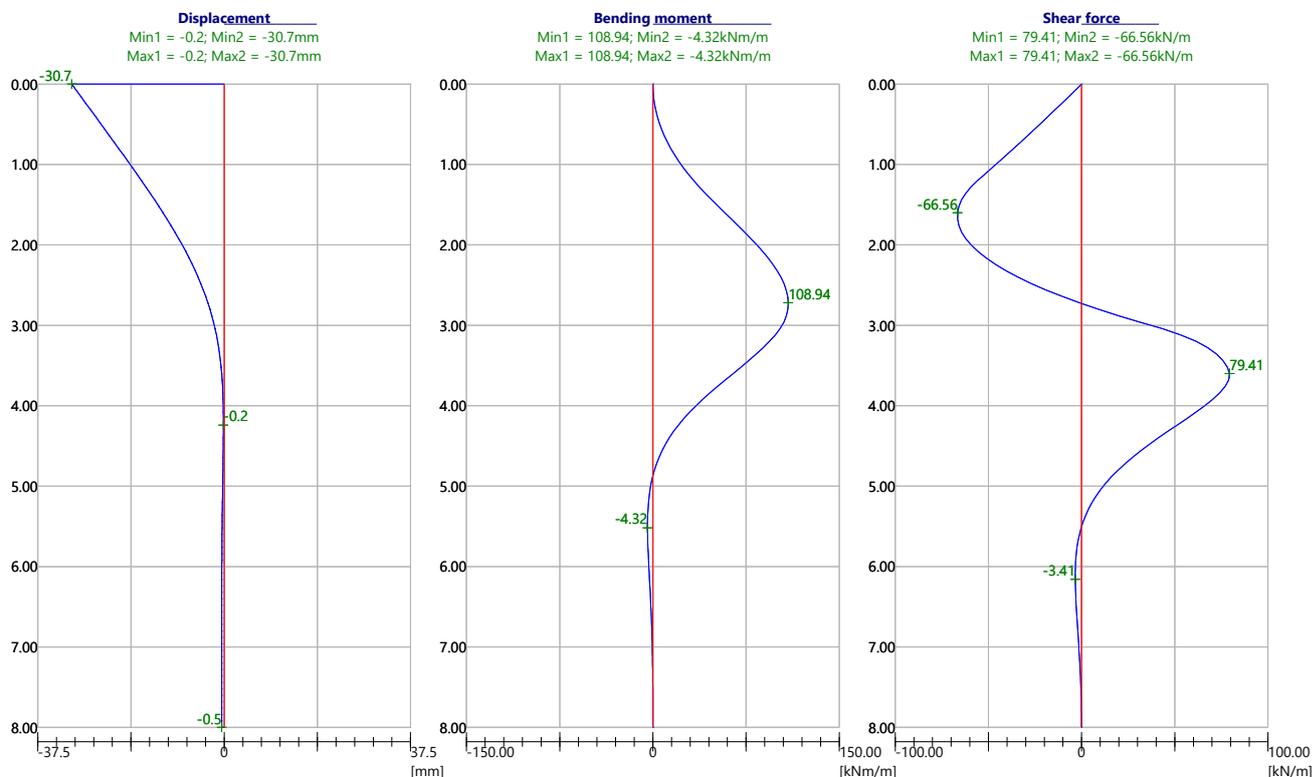
**Verification of combined section (bending):**

$M/M_{pl,N,Rd} = 0.463 \leq 0.9 \quad \text{Is satisfactory}$

Cross section is **SATISFACTORY**



**Risultati SLE**



**Spostamenti e sollecitazioni (SLE).**

**7.3.3 Intervento tipo 3 – Nuovo muro di sponda in luogo dell’accesso all’alveo attuale**

L’intervento tipo 3 viene previsto in unico caso, dove l’opera spondale presenta allo stato attuale fondazioni superficiali, che sulla base delle valutazioni geotecniche non sono state ritenute sufficienti a garantire la stabilità, e si ritiene opportuno innalzare la quota sommitale del muro, per uniformarla a quella del tratto immediatamente a monte e a valle. Tale intervento è localizzato in corrispondenza dell’attuale accesso all’alveo del torrente Torbella, il quale verrà sostituito dalla nuova rampa di accesso prevista nel parcheggio “Rivarolo – Pisoni”.

Per questo motivo, viene prevista la realizzazione di una paratia di micropali accostati al piede dell’opera, da inserire preliminarmente allo scavo della sezione, necessario alla posa del rivestimento previsto in progetto. Inoltre, a partire dalla sommità della trave di coronamento della paratia viene realizzato un muro addossato a quello esistente, con lo scopo di proteggere e rinforzare l’opera presente allo stato attuale, che viene innalzato fino alla quota dei muri presenti immediatamente a monte e a valle.

Il calcolo per questo tipo di intervento si riconduce alla sezione n. 12 riportato nel paragrafo 0. In Figura 7-22 si riporta la sezione tipo dell’intervento.

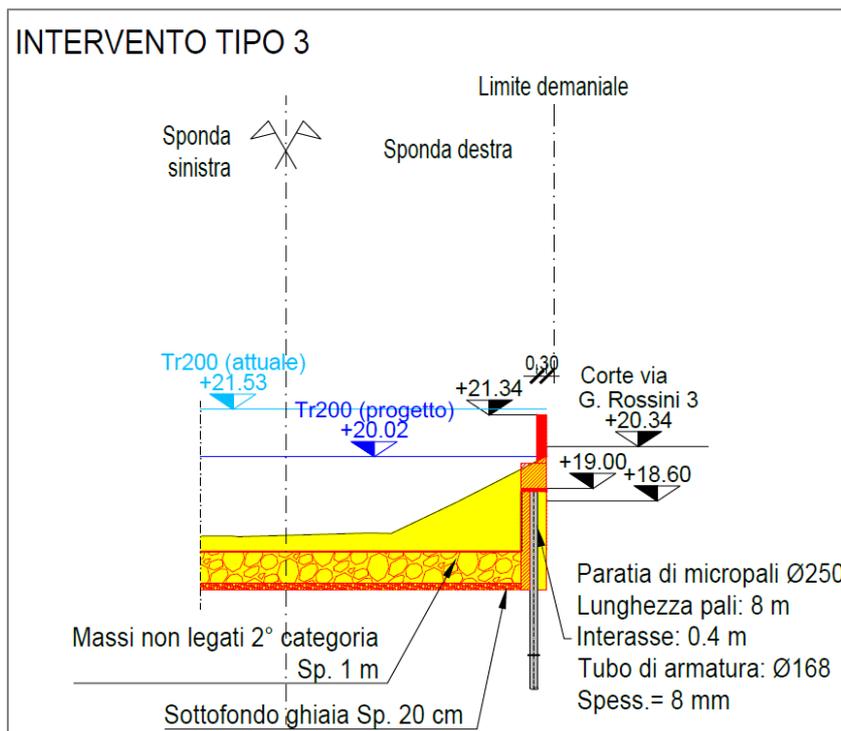


Figura 7-22: Sezione tipo in cui è previsto l'intervento tipo 3

#### 7.3.4 Intervento tipo 4 – Sostituzione della gabbionata in sinistra idraulica

Nel tratto a valle del ponte ferroviario della linea "Bersaglio" è presente allo stato attuale un muro di gabbioni, che sulla base delle risultanze delle indagini esplorative si estendono in profondità fino ad una quota superiore rispetto a quella del fondo scavo e del fondo di progetto previsto dall'intervento di riprofilatura del torrente Torbella. Di conseguenza, viene prevista la realizzazione di una nuova gabbionata a sostituzione di quella attuale, fondata alla quota di fondo scavo prevista dall'intervento in questo tratto.

In Figura 7-23 si riporta la sezione tipo dell'intervento.

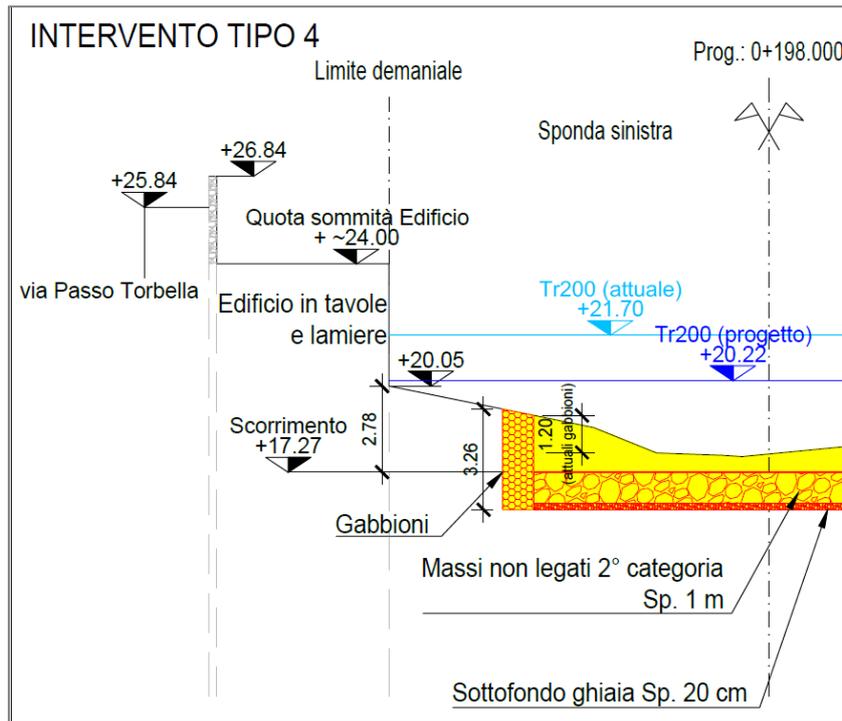
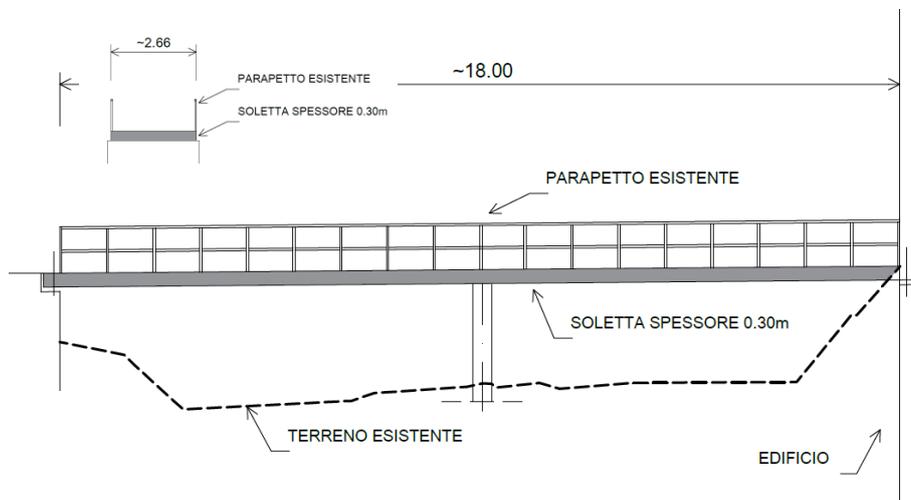


Figura 7-23: Sezione tipo in cui è previsto l'intervento tipo 4

### 7.3.5 Intervento tipo 5 – Rifacimento della pila della passerella di via Passo Torbella 2

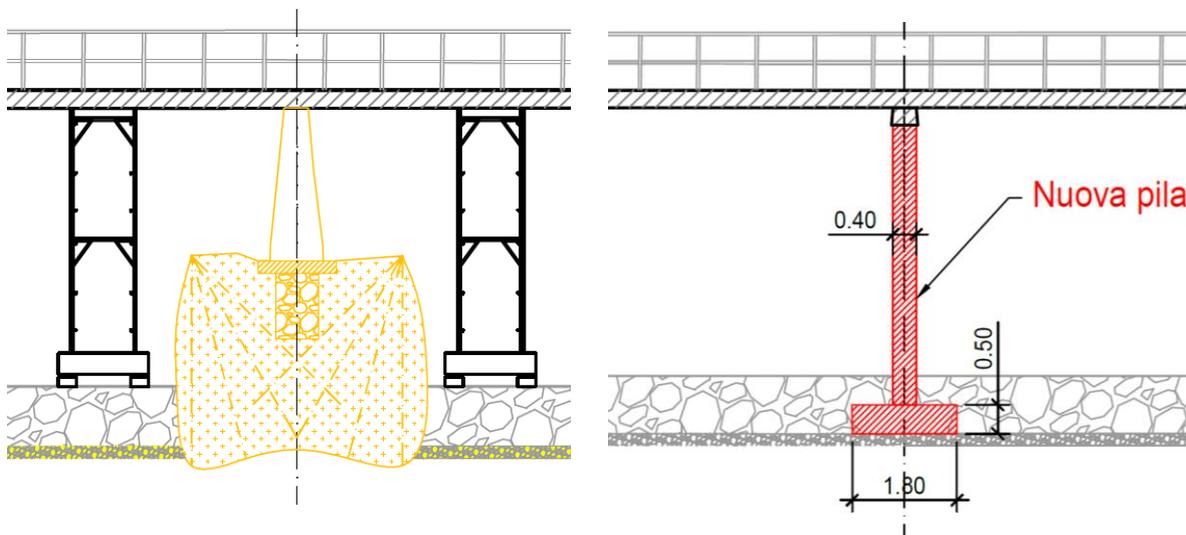
La passerella esistente di via Passo Torbella n. 2 è costituita da una pila in alveo, le cui fondazioni sono state esplorate nell'ambito della campagna di indagini effettuata nell'ambito del presente progetto. Tali fondazioni si estendono fino ad una profondità di 1.30 m rispetto all'attuale talweg, raggiungendo tuttavia una quota superiore rispetto a quella del fondo scavo e del fondo di progetto previsto dall'intervento di riprofilatura del torrente Torbella. Dal momento che dal punto di vista idraulico le verifiche hanno mostrato come tale pila non determini un aumento della pericolosità idraulica, viene previsto di sostituirla con una pila avente pari sezione del fusto, ma con suola di fondazione all'interno dello spessore del nuovo strato di rivestimento dell'alveo.





Per non precludere l'uso della passerella che garantisce l'accesso all'edificio sulla sponda destra, si prevede di procedere ad iniezioni di jet grouting al di sotto della pila attuale, in modo da poter procedere allo scavo fino alla nuova quota di fondo alveo intorno alla pila; una volta terminato lo scavo intorno alla pila, verranno realizzate due pile provvisorie in elementi di ponteggio, che consentiranno la demolizione della sottomurazione in jet della pila esistente, avendo cura di mantenere i ferri esistenti per garantire il collegamento con il fusto della nuova pila, e la successiva realizzazione di quest'ultima.

La descrizione dettagliata delle fasi dell'intervento è riportata nell'elaborato II151F-PD-STR-D072.



Carichi caratteristici sulla pila:

Luce campata 1	9.00
Luce campata 2	9.00
Larghezza carreggiata	2.80
Altezza pila	5.20
Altezza suola	0.50

n      b [m]      kN/m      kN/mq      **kN/m**



G2	Peso parapetti	2.0	1.00	<b>2.00</b>
G1	Soletta sp. 0.3 m	2.80	7.50	<b>21.00</b>
				<b>23.00</b>
				<b>207.00</b> su pila

		n	L [m]	kN/m	<b>kN</b>
G1	Pila 40x300 cm	1	5.20	30.00	<b>156.00</b>
G1	Suola 150x420 cm	1	0.50	157.50	<b>78.75</b>
				<b>234.75</b> su pila	

			kN	kN/m	L [m]	<b>kN</b>
Q	Carico tandem + distribuito		200	7.00	9	<b>263.00</b>
oppure						
Q	Carico distribuito			14.00	9	<b>126.00</b>
				<b>263.00</b> su pila		

**626.00** kN TOT su pila

Sigla	Unità stratigrafica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	GSI	RMR	Classe Bieniawsky	mb (Hoek-Brown)	s (Hoek-Brown)	a (Hoek-Brown)	v	c' (kPa)	$\phi$ (°)	E (MPa)	K (m/s)
RIP	Ripporto	18	-	-	-	-	-	-	0.3	0 - 5	28	20	1.0E-05
CD	Depositi eluviali-colluviali	19	-	-	-	-	-	-	0.3	5	29	25	1.0E-05
AA/AM	Alluvioni Torbella	19	-	-	-	-	-	-	0.3	0	31	28	1.0E-04
AMT	Argilliti di Montanesi	27	30	27	IV	0.493	4.00E-04	0.522	0.45	100	38	1200	1.5E-07
AMTa	Argilliti di Montanesi, materiale alterato e zona di faglia	25	20	16	V	0.287	1.00E-04	0.544	0.4	25	28	350	4.5E-07



<b>Dimensioni pila [m]</b>						
larghezza Lx						
						<b>0.40</b>
lunghezza Ly						<b>3.00</b>
larghezza impalcato Lcopx						<b>2.80</b>
lunghezza influenza Lcopy						<b>9.00</b>
Altezza pila da estradosso fondazione						<b>5.20</b>
<b>Dimensioni suola [m]</b>						
distanza da pavimento a estradosso platea						<b>0.00</b>
larghezza Lx						<b>1.80</b>
lunghezza Ly						<b>4.20</b>
spessore						<b>0.50</b>
<b>Analisi dei carichi (valori caratteristici)</b>						
	kN/mq - kN/ml	mq/ml	=>	kN	H appl. [m]	coeff. SLU
G1 + G2 copertura	<b>7.50</b>	25.20	=>	189.00	5.35	1.30
G2 parapetti	<b>2.00</b>	9.00	=>	18.00	5.50	1.50
G1 pila	<b>30.00</b>	5.20	=>	156.00	2.60	1.30
G1 suola	<b>12.50</b>	7.56	=>	<b>94.50</b>		1.30
				<b>457.50</b>		
	kN - kN/mq	m	=>	kN		
Carico tandem	<b>200</b>		=>	200.00	5.50	1.50
Carico distribuito	<b>7.00</b>	<b>9.00</b>		<b>63.00</b>	5.50	1.50
				<b>263.00</b>		
	kN/mq	C <sub>ix</sub>	forza/m	C <sub>m</sub>	momento/m	coeff. SLU
Pressione di picco del vento	<b>1.31</b>	<b>2.08</b>	8.99	<b>0.20</b>	2.85	1.50
Ordinata massima spettro SLV (adimensionale su g)	<b>0.21</b>					
<b>Calcolo delle azioni (azioni SLU e SLV)</b>						
	Risultante [kN]	H appl. su fond. [m]	Mrib [kN m]			
Risultante vento su impalcato	121.39	5.20	631.23			
Risultante momento su pila	38.52		38.52			
Risultante vento su pila	4.90	2.60	12.75			
			<b>682.50</b>			
Risultante sisma G1+G2 copertura	43.47	5.35	232.56			
Risultante sisma pila	32.76	2.60	85.18			
			<b>317.74</b>			



<b>Verifica a ribaltamento per sisma</b>				
La verifica a ribaltamento più sfavorevole è con sisma in direzione parallela all'impalcato				
	Risultante [kN]		H appl. su imposta [m]	
Risultante sisma G1+G2 copertura	43.47		5.85	254.30
Risultante sisma pila	32.76		3.10	101.56
				<b>355.86</b>
Contributi stabilizzanti:	[kN]	[%]	braccio [m]	Mstab [kN m]
G1 + G2 copertura	189.00	100%	0.90	170.10
G2 parapetti	18.00	0%	0.90	0.00
G1 pila e suola	250.50	100%	0.90	225.45
				<b>395.55</b>
		MSd/Mstab =	1.11	> 1.0 OK
<b>Verifica a scorrimento per sisma</b>				
Azioni sollecitanti			[kN]	
Risultante sisma G1+G2 copertura			43.47	
Risultante sisma pila			32.76	
			<b>76.23</b>	
	φ	31	μ	0.38
Contributi stabilizzanti:	[kN]	[%]	Fstab [kN m]	
G1 + G2 copertura	189.00	100%	71.29	
G2 parapetti	18.00	0%	0.00	
G1 pila e suola	250.50	100%	94.49	
			<b>165.78</b>	
		FSd/Fstab =	2.17	> 1.1 OK
<b>Verifica a ribaltamento per vento (SLU)</b>				
La verifica è condotta con vento in direzione ortogonale all'impalcato				
	Risultante [kN]	[kN m]	H appl. su imposta [m]	
Risultante vento su impalcato	121.39		5.70	691.92
Risultante momento su pila		38.52		38.52
Risultante vento su pila	4.90		3.10	15.20
				<b>745.64</b>
Contributi stabilizzanti:	[kN]	[%]	braccio [m]	Mstab [kN m]
G1 + G2 copertura	189.00	100%	2.10	396.90
G2 parapetti	18.00	0%	2.10	0.00
G1 pila e suola	250.50	100%	2.10	526.05
				<b>922.95</b>
		MSd/Mstab =	1.24	> 1.0 OK
<b>Verifica a scorrimento per vento (SLU)</b>				
Azioni sollecitanti			[kN]	
Risultante vento su impalcato			121.39	
Risultante vento su pila			4.90	
			<b>126.29</b>	
	φ	31	μ	0.38
Contributi stabilizzanti:	[kN]	[%]	Fstab [kN m]	
G1 + G2 copertura	189.00	100%	71.29	
G2 parapetti	18.00	0%	0.00	
G1 pila e suola	250.50	100%	94.49	
			<b>165.78</b>	
		FSd/Fstab =	1.31	> 1.1 OK



Portata per sisma in direzione trasversale:

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DELLE FONDAZIONI DIRETTE COMBINAZIONE				A1+M1+A3
<u>Dimensioni del plinto</u>				
B =	1.80	m		
L =	4.20	m		
spessore ricoprim	0	m		
spessore fondaz	0.50	m		
D =	0.50	m	profondità del piano di fondazione	
<u>Sollecitazioni alla base del plinto</u>				
senza peso riempimento				
N =	457.50	kN		
Vx =	22.87	kN		
Vy =	76.23	kN		
Mxx =	355.86	kNm		
Myy =	106.76	kNm		
<u>Caratteristiche del terreno</u>				
Terreno immerso [s/n] = n				
γ =	19	kN/m3	peso specifico del terreno posto sopra il piano di fondazione	
γ' =	19	kN/m3		
γ2 =	19	kN/m3		
γ2' =	19	kN/m3		
φ =	35	°		
c' =	0	kN/m2		
<u>Calcolo della capacità portante</u>				
F =	79.59	kN		
F/N =	0.17			
ex =	0.23	m	ey = 0.78 m	
B' =	1.33	m	L' = 2.64 m	
q = γ' D =	9.5	kN/m2		
<u>Fattori di capacità portante (Vesic, 1975):</u>				
Nc =	46.12			
Nq =	33.30			
Nγ =	48.03			
<u>Fattori di forma della fondazione (De Beer, 1967):</u>				
sc =	1.10			
sq =	1.35			
sγ =	0.80			
<u>Fattore di inclinazione del carico (Vesic, 1970):</u>				
ic =	0.72		m = 1.66	
iq =	0.73			
iγ =	0.60			
qlim =	603.2	kN/m2		
Nlim =	2 126.7	kN		
γR3 =	2.30			
NRd = Nlim/γR3 =	924.66			
Fs = NRd / N =	2.02	> 1.0 OK		



Portata per vento in direzione trasversale:

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DELLE FONDAZIONI DIRETTE COMBINAZIONE				A1+M1+A3
<u>Dimensioni del plinto</u>				
B =	1.80	m		
L =	4.20	m		
spessore ricoprim	0	m		
spessore fondaz	0.50	m		
D =	0.50	m	profondità del piano di fondazione	
<u>Sollecitazioni alla base del plinto</u>				
senza peso riempimento				
N =	520.50	kN		
Vx =	0.00	kN		
Vy =	126.29	kN		
Mxx =	745.64	kNm		
Myy =	0.00	kNm		
<u>Caratteristiche del terreno</u>				
Terreno immerso [s/n] =				n
γ =	19	kN/m3	peso specifico del terreno posto sopra il piano di fondazione	
γ' =	19	kN/m3		
γ2 =	19	kN/m3		
γ2' =	19	kN/m3		
φ =	35	°		
c' =	0	kN/m2		
<u>Calcolo della capacità portante</u>				
F =	126.29	kN		
F/N =	0.24			
ex =	0.00	m	ey =	1.43
B' =	1.80	m	L' =	1.33
q = γ' D =	9.5	kN/m2		
<u>Fattori di capacità portante (Vesic, 1975):</u>				
Nc =	46.12			
Nq =	33.30			
Nγ =	48.03			
<u>Fattori di forma della fondazione (De Beer, 1967):</u>				
sc =	1.15			
sq =	1.52			
sγ =	0.70			
<u>Fattore di inclinazione del carico (Vesic, 1970):</u>				
ic =	0.63		m =	1.57
iq =	0.65			
iγ =	0.49			
qlim =	519.8	kN/m2		
Nlim =	1 248.9	kN		
γR3 =	2.30			
NRd = Nlim/γR3 =	542.99			
Fs = NRd / N =	1.04	> 1.0 OK		



### 7.3.6 Intervento tipo 6 – Protezione opere spondali esistenti con paratia di micropali provvisoria

Questo intervento è stato previsto per i seguenti tratti:

- Sezione n. 14 destra idrografica, per il tratto di circa 30 m in corrispondenza dell'edificio di via Gioachino Rossini n. 1;
- Sezione n. 8 sinistra idrografica, per il tratto di circa 40 m al piede del muro di RFI.

Come per le paratie degli interventi tipo 2 e 3 i principali risultati riferiti alle condizioni SLU-STR e SLE per ogni sezione sono riportati in forma grafica, in termini di diagrammi degli spostamenti, del momento flettente e del taglio. Per quanto riguarda lo stato limite ultimo geotecnico (SLU-GEO) si riportano le verifiche della resistenza al piede. Allo stesso modo, si evidenzia che tutte le berlinesi sono costituite da micropali della lunghezza di 8 m e diametro Ø250 mm, armati con tubo 168.3 sp. 8 mm (S355) e caratterizzati da un interasse di 0.40 m. Inoltre, gli scavi ed i successivi rivestimenti in massi non legati di 2° categoria dovranno essere eseguiti per sottocantieri caratterizzati da un avanzamento per conci di 3 m al massimo.

#### **Sezione n.14 destra idrografica**

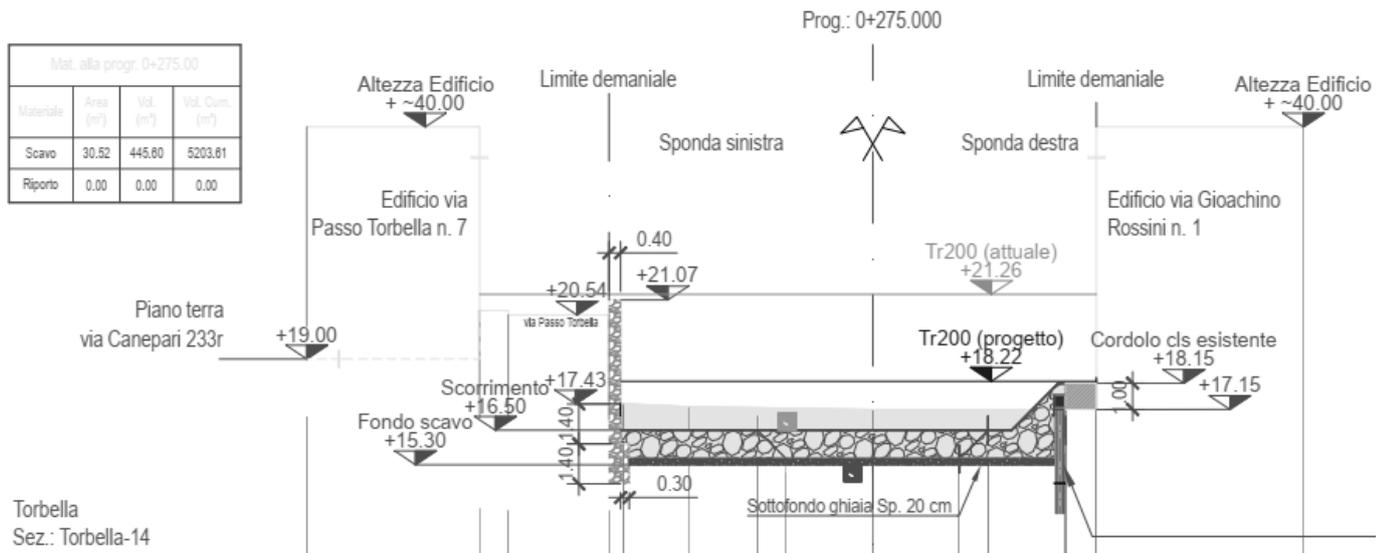
Per il tratto in destra idraulica di circa 30 m in corrispondenza dell'edificio di via Gioachino Rossini n. 1. In affiancamento a tale edificio, che confina direttamente con l'alveo del torrente Torbella, è presente un cordolo in cls, le cui caratteristiche sono state indagate nell'ambito delle indagini, le quali non hanno evidenziato la presenza di ulteriori elementi al di sotto della sua quota d'imposta. Secondo queste risultanze il cordolo non fa parte delle fondazioni dell'edificio, bensì è stato inserito successivamente allo scopo di proteggere dall'erosione delle piene le fondazioni dello stesso.

L'intervento di riprofilatura del torrente Torbella prevede in questo tratto un abbassamento dell'alveo ad una quota inferiore dell'imposta di tale cordolo. Di conseguenza, per evitare eventuali disturbi a questo elemento, il quale confina direttamente con l'edificio di via Gioachino Rossini n. 1, è stata prevista la realizzazione di una paratia di micropali provvisoria, la quale viene poi inglobata all'interno del rivestimento in massi definitivo.

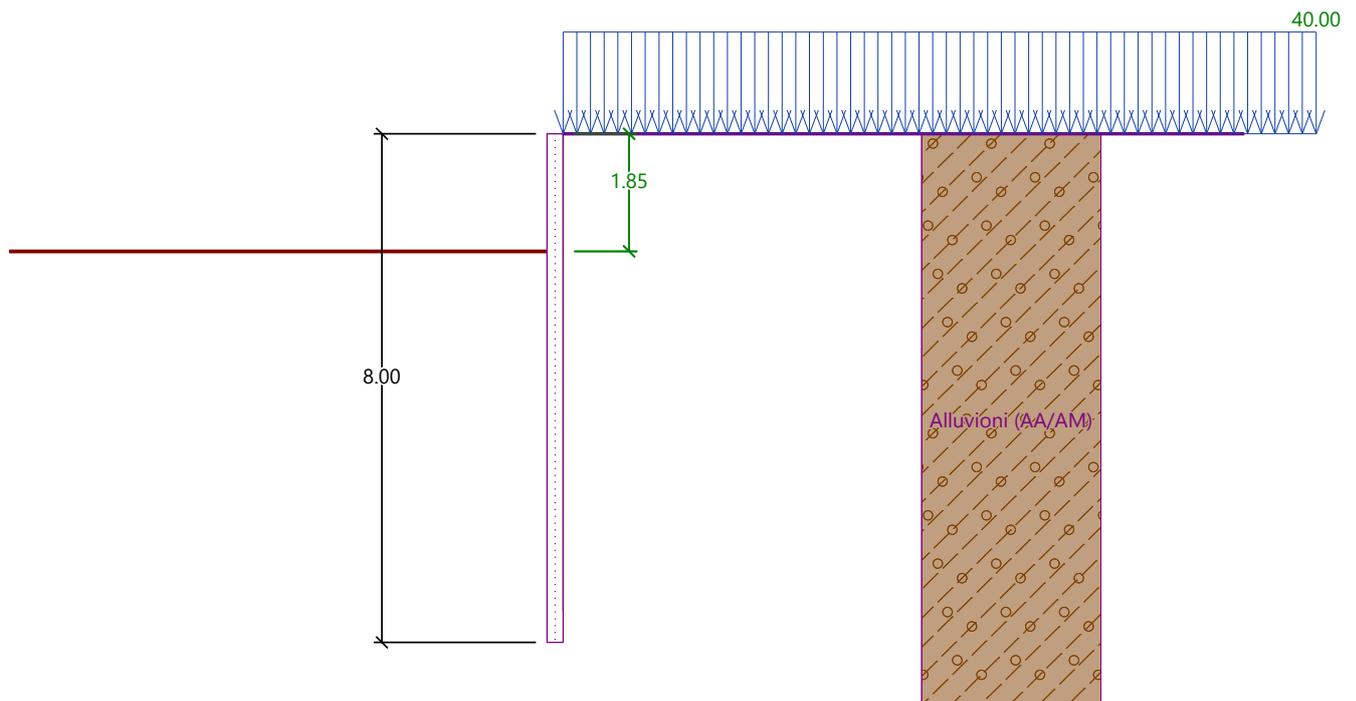


Mat. alla progr. 0+275.00

Materiale	Area (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Vol. Cum. (m <sup>3</sup> )
Scavo	30.52	445.60	5203.61
Riparto	0.00	0.00	0.00



Sezione n.14.



Schema di calcolo (sovraccarico permanente 40 kPa).

### Verifica SLU-GEO

#### Utilization of passive pressure

Maximum passive pressure  $R_{max} = 1482.14 \text{ kN/m}$

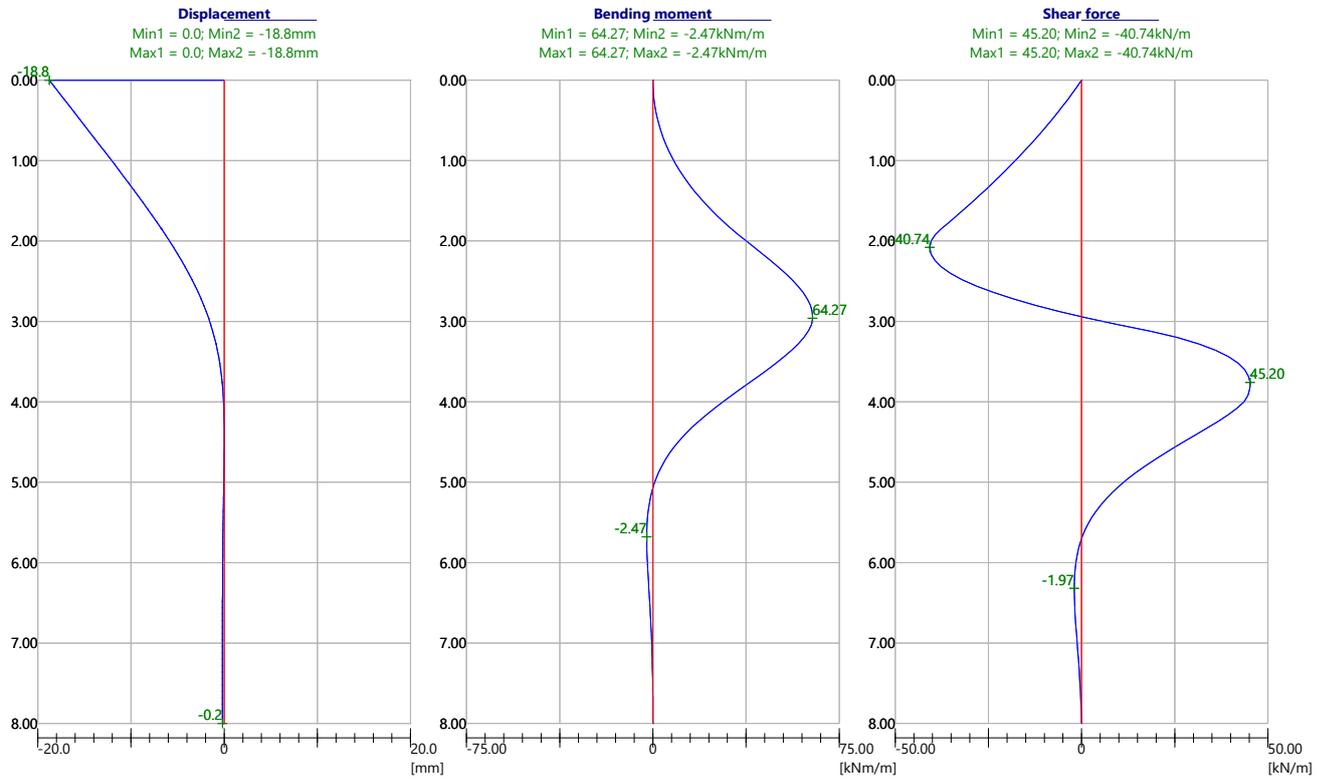
Mobilized passive pressure  $R_{mob} = 405.00 \text{ kN/m}$

Requested safety factor  $SF_p = 1.00 < 3.66$



Overall verification of passive pressure utilization is SATISFACTORY

### Verifica SLU-STR



### Spostamenti e sollecitazioni (SLU-STR).

#### Verification of combined section according to EN 1994-1-1

All construction stages are taken into the analysis.  
 Partial factor on load = 1.00

#### Forces per one section

$M_{max} = 25.71 \text{ kNm}; \quad Q = 0.68 \text{ kN}$   
 $Q_{max} = 18.08 \text{ kN}; \quad M = 15.58 \text{ kNm}$

#### Verification of max. moment $M_{max} + Q$ :

#### Verification of combined section (shear):

$Q/V_{Rd} = 0.001 \leq 1$  Is satisfactory

#### Verification of combined section (bending):

$M_{max}/M_{pl,N,Rd} = 0.319 \leq 0.9$  Is satisfactory

#### Verification of max. shear force $Q_{max} + M$ :

#### Verification of combined section (shear):

$Q_{max}/V_{Rd} = 0.035 \leq 1$  Is satisfactory

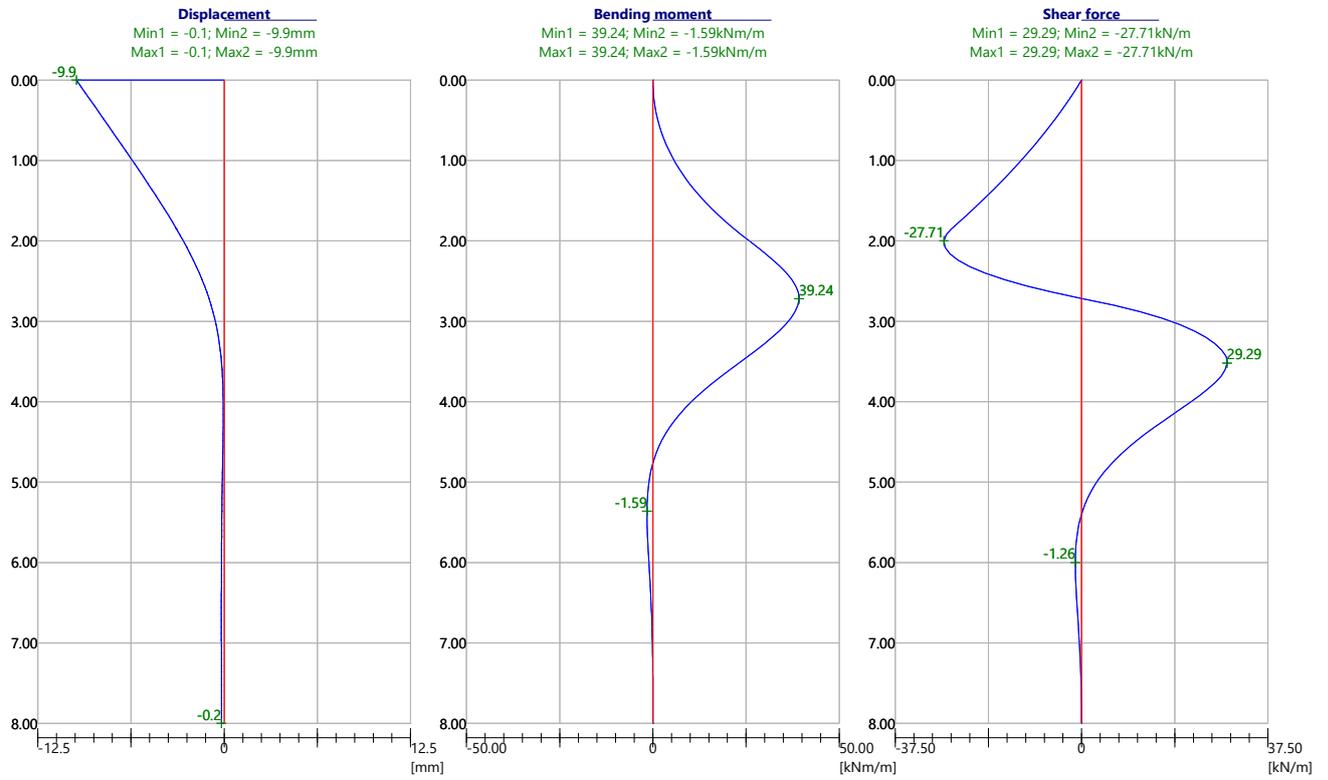
#### Verification of combined section (bending):

$M/M_{pl,N,Rd} = 0.194 \leq 0.9$  Is satisfactory

Cross section is SATISFACTORY



**Risultati SLE**

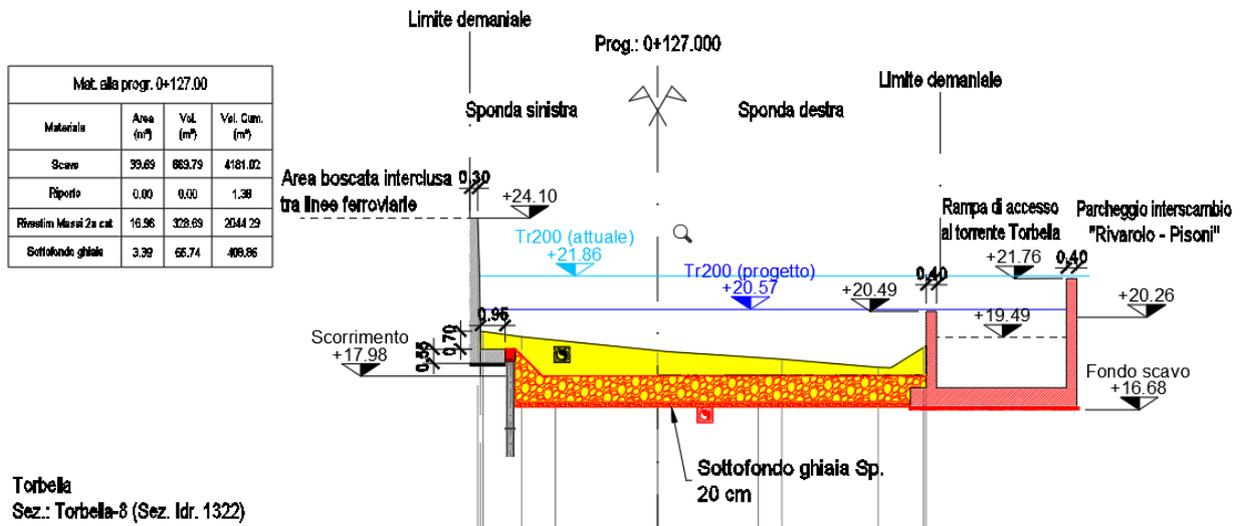


**Spostamenti e sollecitazioni (SLE).**

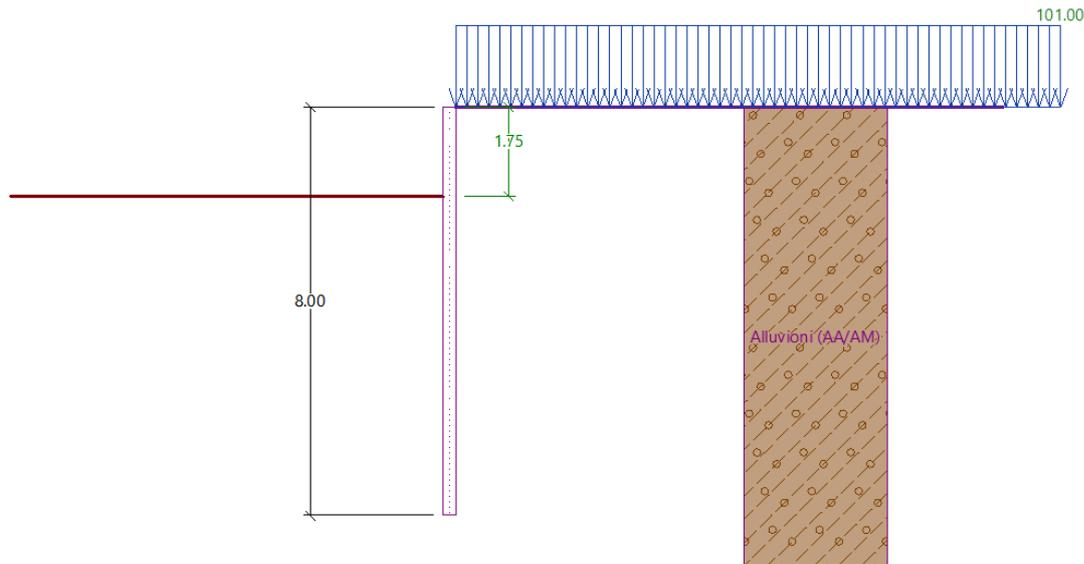
**Sezione n.8 sinistra idrografica**

L'intervento qui previsto ha lo scopo di proteggere provvisoriamente il muro di RFI che si trova tra il ponte ferroviario della Linea dei Giovi e quello della Linea Bersaglio. Tale muro appare di più recente costruzione rispetto a molti altri presenti lungo le sponde del torrente Torbella. Inoltre, si trova in un tratto di interno curva, dove allo stato attuale il dislivello del fondo alveo rispetto alla quota del talweg è pari a circa 1.5 m.

Per questi motivi è verosimile che sia stato costruito con fondazioni ad una quota più superficiale e, di conseguenza, risulta necessario realizzare la paratia di micropali provvisoria che viene di seguito verificata.



Verifica berlinese sinistra idrografica



Verifica SLU-GEO

Utilization of passive pressure

Maximum passive pressure  $R_{max} = 1530.73 \text{ kN/m}$

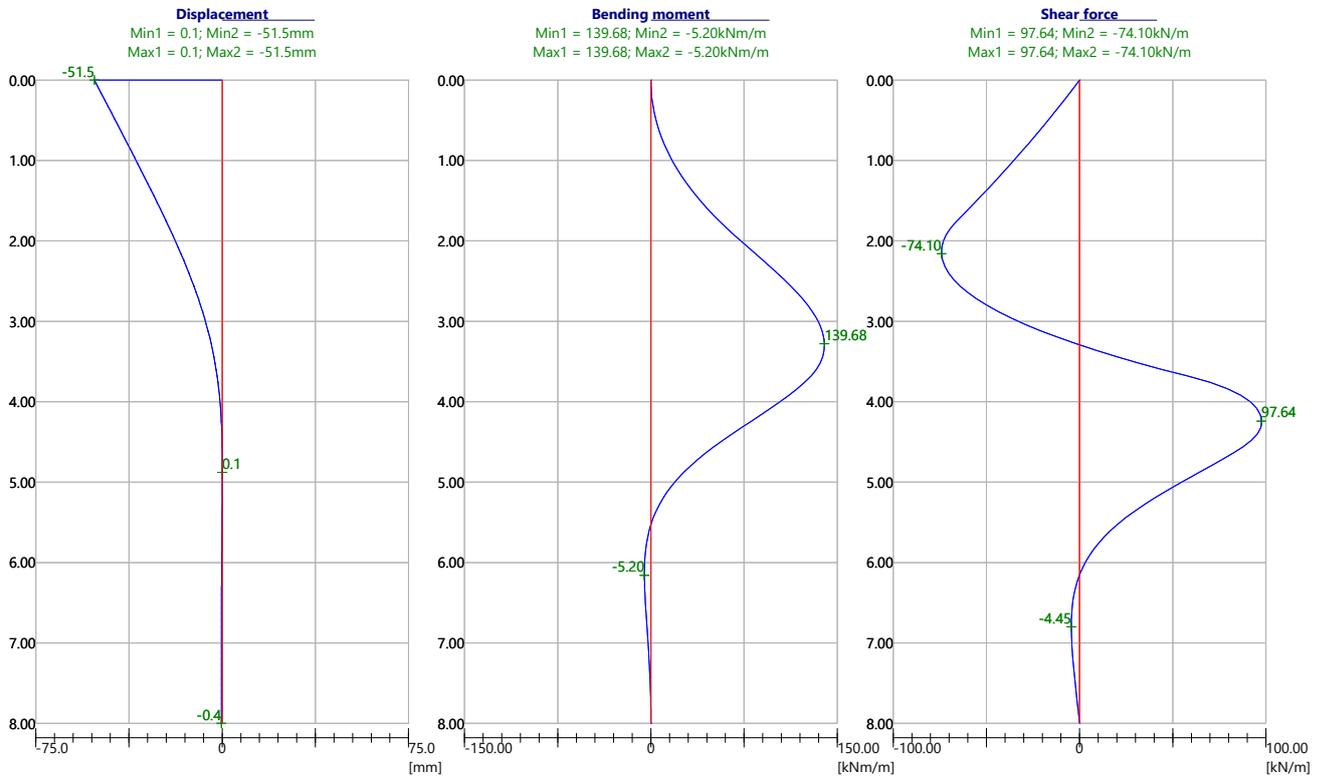
Mobilized passive pressure  $R_{mob} = 559.05 \text{ kN/m}$

Requested safety factor  $SF_p = 1.00 < 2.74$

Overall verification of passive pressure utilization is SATISFACTORY



### Verifica SLU-STR



### Spostamenti e sollecitazioni (SLU-STR).

#### Verification of combined section according to EN 1994-1-1

All construction stages are taken into the analysis.

Partial factor on load = 1.00

#### Forces per one section

$M_{max} = 55.87 \text{ kNm}; \quad Q = 0.72 \text{ kN}$   
 $Q_{max} = 39.06 \text{ kN}; \quad M = 32.41 \text{ kNm}$

#### Verification of max. moment $M_{max} + Q$ :

#### Verification of combined section (shear):

$Q/V_{Rd} = 0.001 \leq 1$  *Is satisfactory*

#### Verification of combined section (bending):

$M_{max}/M_{pl,N,Rd} = 0.694 \leq 0.9$  *Is satisfactory*

#### Verification of max. shear force $Q_{max} + M$ :

#### Verification of combined section (shear):

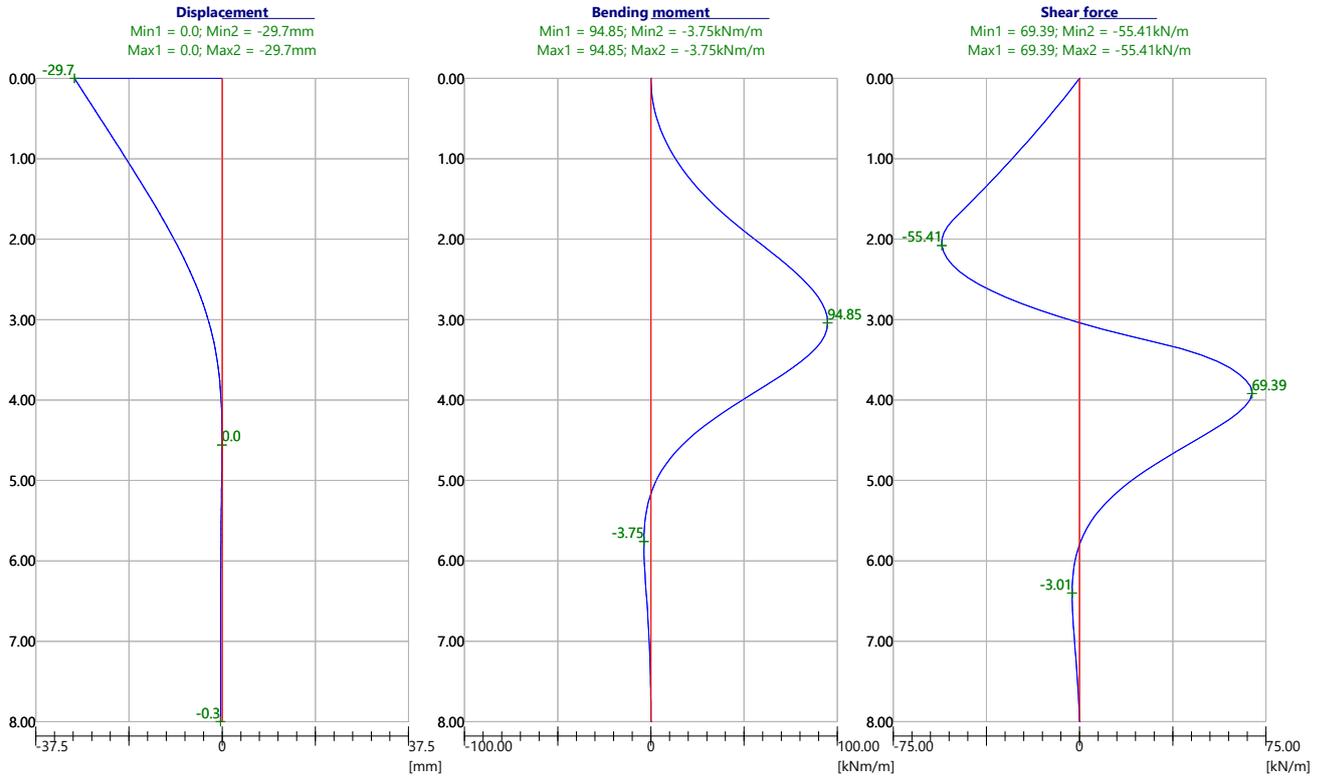
$Q_{max}/V_{Rd} = 0.075 \leq 1$  *Is satisfactory*

#### Verification of combined section (bending):

$M/M_{pl,N,Rd} = 0.403 \leq 0.9$  *Is satisfactory*

Cross section is **SATISFACTORY**

### Risultati SLE



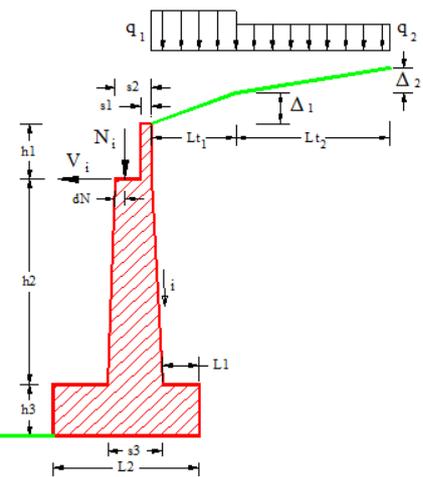
**Spostamenti e sollecitazioni (SLE).**

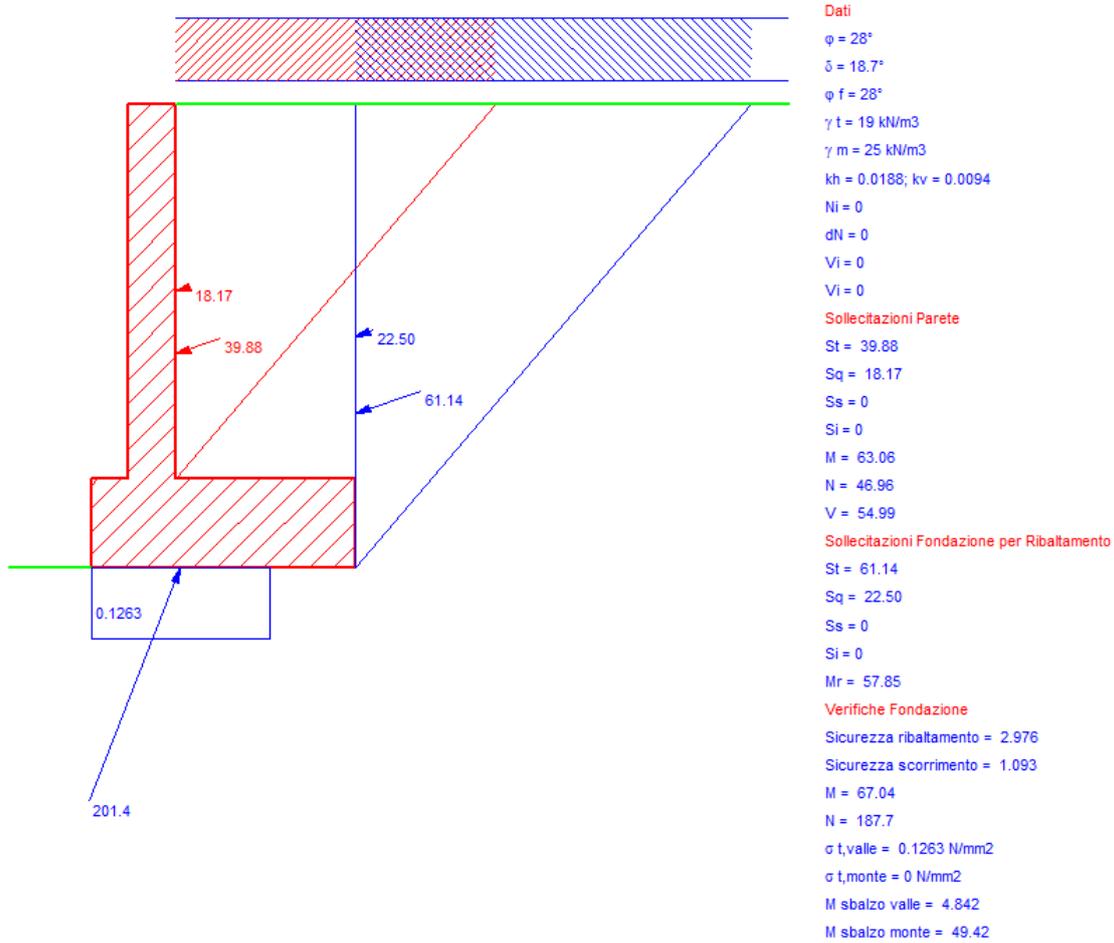
Verifica sezione base muro rampa destra idrografica

Altezza paraghiaia (m)	h1	0	Angolo attrito interno	$\phi^{\circ}$	28	Impalcato	
Spessore paraghiaia (m)	s1	0.3	Ang. attrito terra-muro	$\delta^{\circ}$	18.7	Ni	0 dN
Inclinazione parete (%)	i	0	Ang. attrito fondazione	$\phi_f^{\circ}$	28	Vi	0 kN
Altezza parete (m)	h2	3.15	Peso spec. terre [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_t$	19		
Spessore in testa (m)	s2	.4	Peso spec. muro [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_m$	25		
Spessore alla base (m)	s3	.4	Dati Sisma	$K_v$	0.0094	$K_h$	0.0188
Altezza fondazione (m)	h3	0.75	N° lati terreno				
Sbalzo fond. contro terra	L1	1.5					
Larghezza totale fond.	L2	2.2					

Parete		Fondazione			Sbalzi Fondazione		
St	39.88 kN	Ribaltamento	Scorrimento	Schiacciamento	M valle	4.842	
Sq	18.17 kN	St	55.58	St	55.58	M monte	49.42
Ss	0 kN	Sq	22.50	Sq	15.00	$\sigma_{t, valle}$	0.1263 MPa
Si	0 kN	Ss	0	Ss	1.894	$\sigma_{t, monte}$	0
M	63.06 kNm	Si	0	Si	3.055	% comp.	67.53
N	46.96 kN	Mr	57.85	V	71.70	Verifiche più gravose	
V	54.99 kN	Ms	172.2	N	184.2		
	?	Ms/Mr	2.976	c. scor.	1.093		





**Spostamenti e sollecitazioni (Condizione più gravosa).**

Il momento alla base della parete è pari a 63 kN m/m, considerando a favore di sicurezza uno spessore di 30 cm di armare con 5+5 Ø18 a metro il momento resistente è pari a 115 kN m/m

Titolo: [ ]

N° strati barre [ 2 ] Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	30	1	12.72	7
			2	12.72	23

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> [ 0 ] kN  
 M<sub>Ed</sub> [ 0 ] kNm  
 M<sub>yEd</sub> [ 0 ] kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

Coor. [cm]: xN [ 0 ], yN [ 0 ]

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>Rd</sub> [ 115.1 ] kN m

Materiali: B450C C30/37

$E_{su}$  [ 67.5 ] %  $\epsilon_{c2}$  [ 2 ] %  
 $f_{yd}$  [ 391.3 ] N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  [ 3.5 ] %  
 $E_s$  [ 200 000 ] N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  [ 17 ]  
 $E_s/E_c$  [ 15 ]  $f_{cc}/f_{cd}$  [ 0.8 ]  
 $\epsilon_{syd}$  [ 1.957 ] %  $\sigma_{c,adm}$  [ 11.5 ]  
 $\sigma_{s,adm}$  [ 255 ] N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  [ 0.6933 ]  
 $\tau_{ct}$  [ 2.029 ]

$\sigma_c$  [ -17 ] N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  [ 391.3 ] N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  [ 3.5 ] %  
 $\epsilon_s$  [ 11.27 ] %  
 $d$  [ 23 ] cm  
 $x$  [ 5.452 ]  $x/d$  [ 0.237 ]  
 $\delta$  [ 0.7363 ]

Tipo Sezione: Rettang.re Trapezi  
 a T Circolare  
 Rettangoli Coord.  
 DXF

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. [ 100 ]

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> [ 0 ] cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso [ ]



Il taglio è pari 55 kN:

RESISTENZA DI ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO								
GEOMETRIA SEZIONE E MATERIALI						N <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>	OK
b <sub>w</sub> (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	R <sub>ck</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	(kN)	(kN)	
100.00	30.00	7.00	23.00	40.00	450.00	47.00	55.00	
Resistenza a taglio senza armatura specifica						V <sub>Rd</sub>	V <sub>ed</sub> / V <sub>Rd</sub>	
A <sub>SL,tot</sub> (mmq)	k	v <sub>min</sub> (MPa)	ρ <sub>L</sub>	σ <sub>cp</sub> (MPa)	(kN)			
12.723	1.93	0.54	0.0055	0	146.13	0.38		

Per la suola di Fondazione il momento massimo è pari a 50 kN m/m ed il taglio pari a 40 kN/m, mantenendo passo e diametro delle armature del muro le verifiche non sono più gravose di quelle della parete, che ha un'altezza inferiore.

### 7.3.7 Intervento tipo 7 – Protezione opere spondali esistenti con paratia di micropali provvisoria non armata

Lungo il muro di sponda in sinistra idraulica del torrente Torbella nel tratto che si estende dal ponte di via Canepari fino al ponte ferroviario della linea "Genova – Busalla" è stata prevista la realizzazione di una paratia di micropali non armati, costituita da micropali della lunghezza di 1,5 m e diametro Ø250 mm, caratterizzati da un interasse di 0.40 m.

Come nei casi degli interventi precedentemente illustrati, gli scavi ed i successivi rivestimenti in massi non legati di 2° categoria dovranno essere eseguiti per sottocantieri caratterizzati da un avanzamento per conci di 3 m al massimo.

#### Sezione n.16 – sponda sinistra

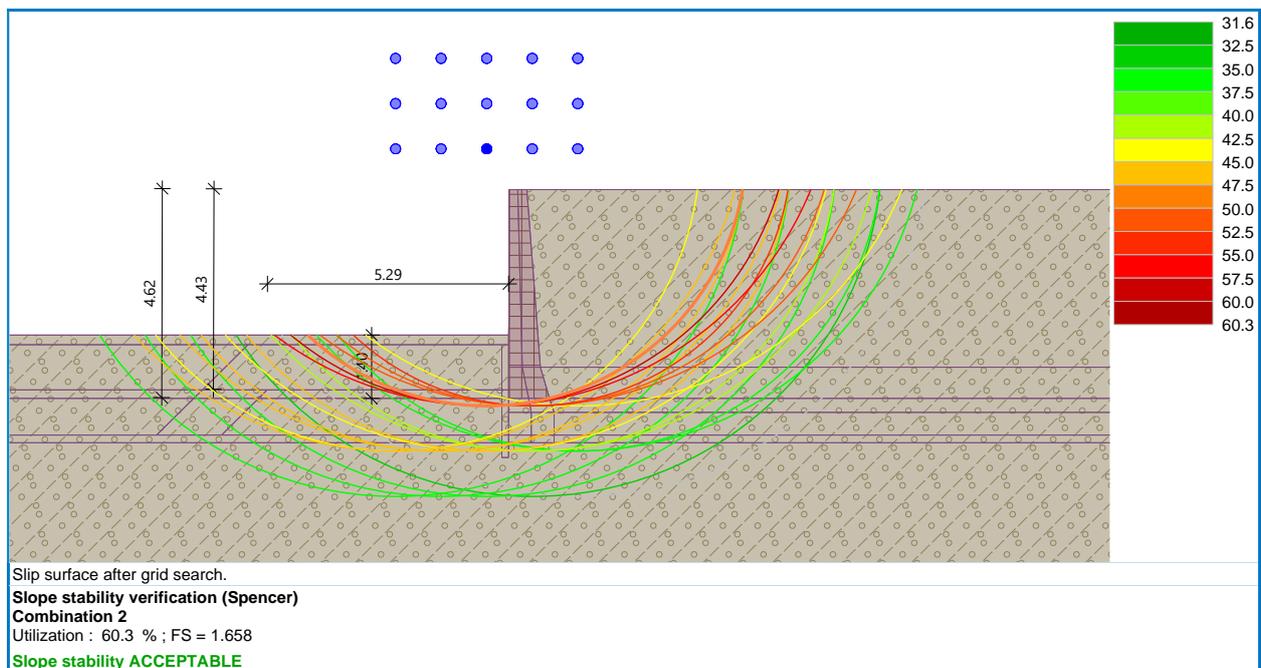


Figura 7.24 Sezione n.16 – situazione attuale statica.

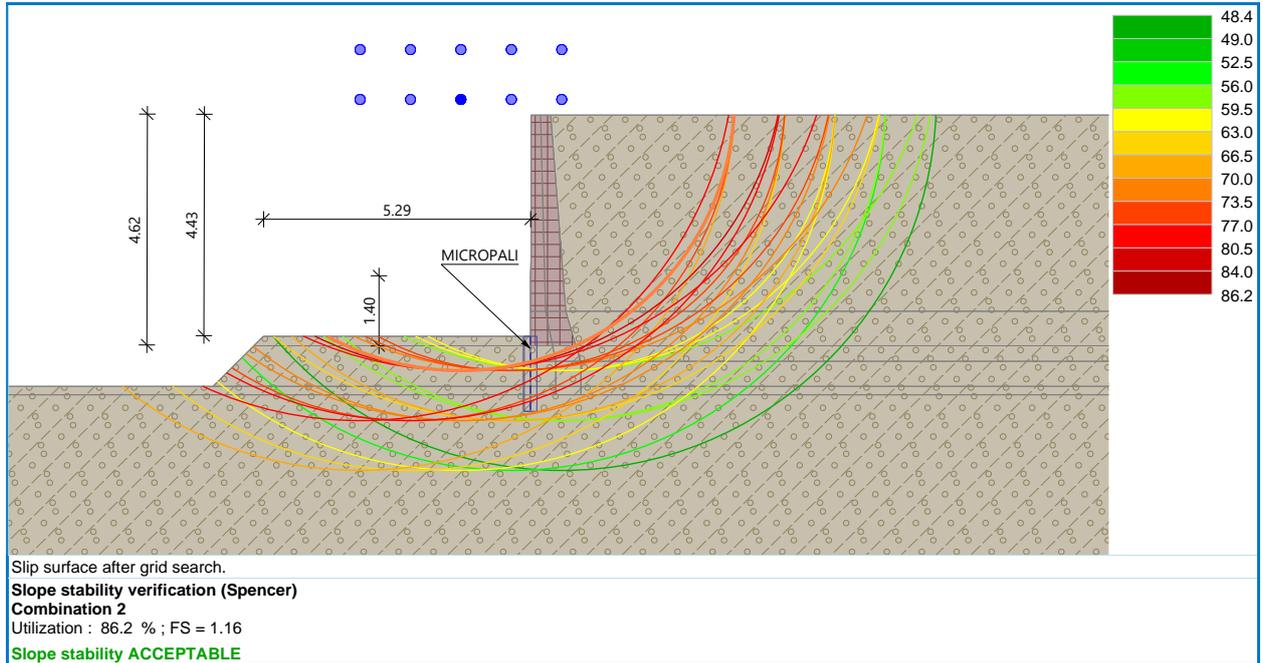


Figura 7.25 Sezione n.16 – situazione transitoria statica.

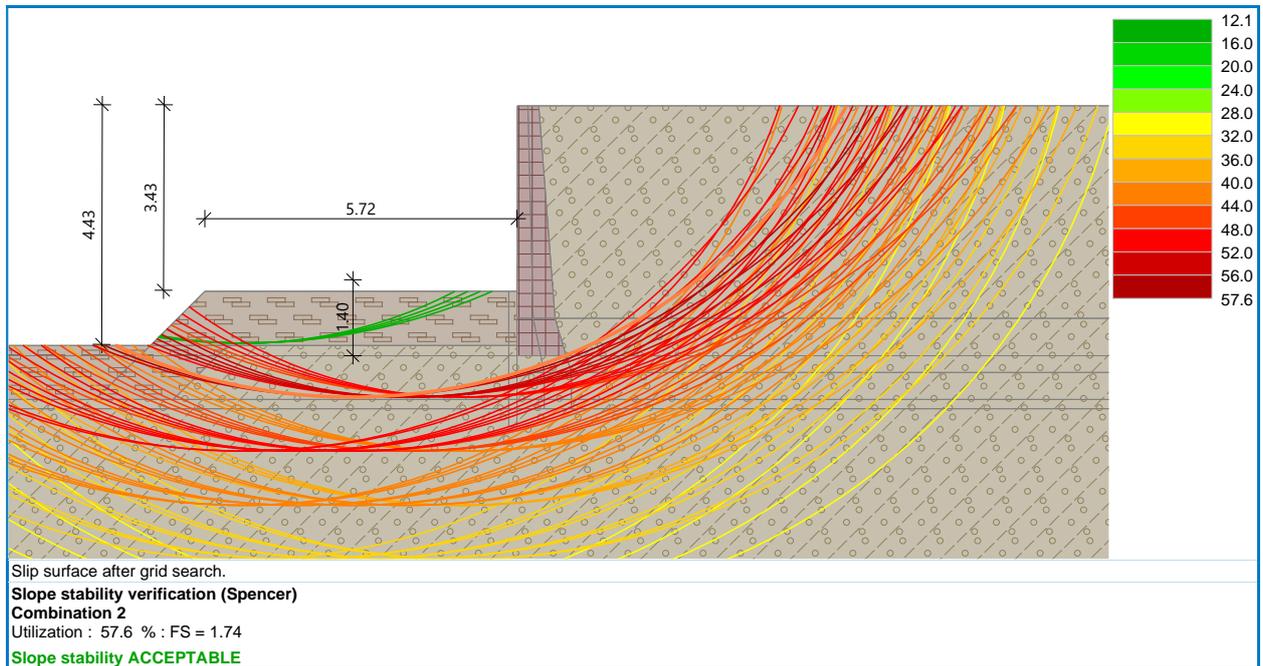


Figura 7.26 Sezione n.16 – situazione definitiva statica (NB.l'analisi non considera la presenza dei micropali).

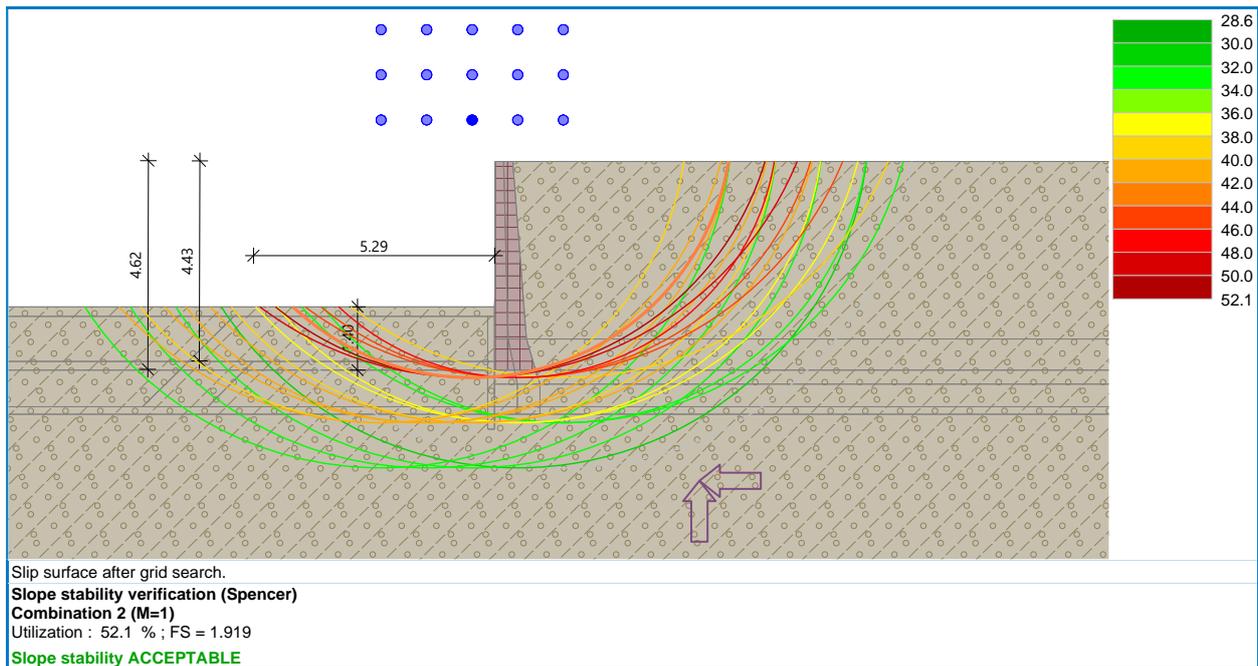


Figura 7.27 Sezione n.16 – situazione attuale sismica.

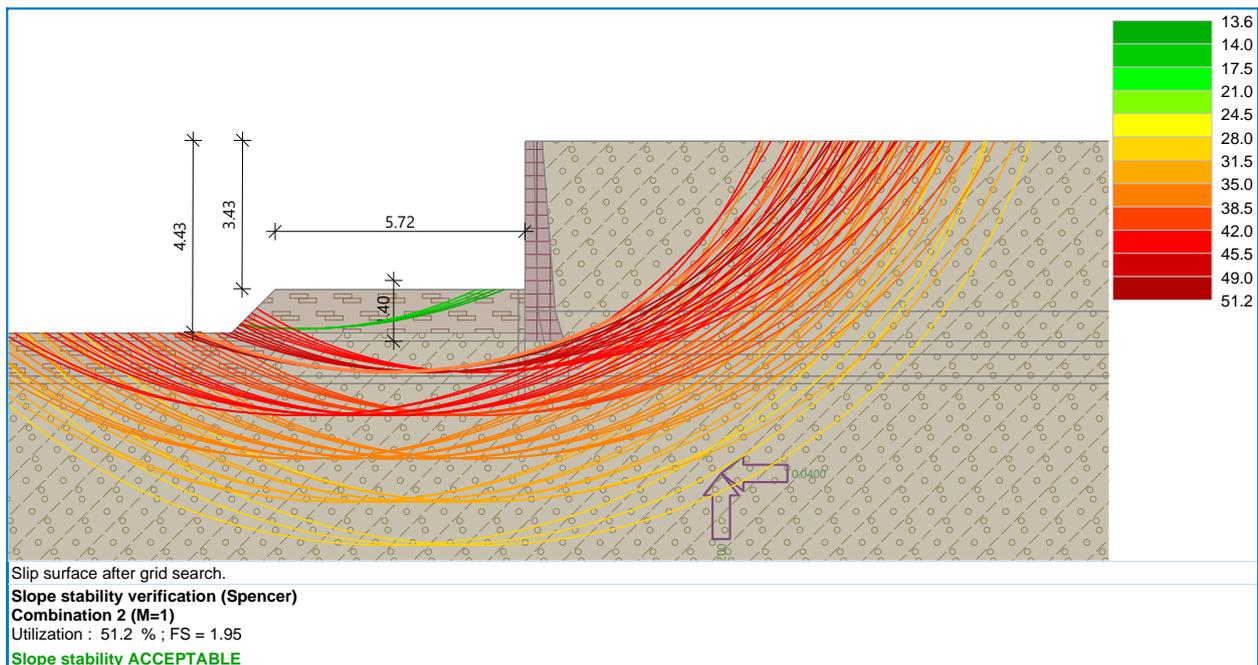


Figura 7.28 Sezione n.16 – situazione definitiva sismica (NB.l'analisi non considera la presenza dei micropali).

Relativamente alla sezione n.16 l'analisi evidenzia sia per la fase transitoria che per la situazione definitiva di progetto (condizioni statiche e sismiche) un fattore di sicurezza superiore al minimo di normativa.



## 8. MONITORAGGIO

Nell'ambito dei lavori il progetto ha previsto un sistema di monitoraggio, rispondente alle esigenze normative, atto a verificare l'effettiva interazione fra le opere ed i terreni, con particolare riferimento per gli effetti derivanti dagli scavi nei confronti di deformazioni che possano ripercuotersi sulle strutture esistenti.

I parametri di controllo possono essere suddivisi in funzione della tipologia di opera da monitorare. In particolare, per le strutture esistenti in superficie sono previsti i seguenti controlli:

- deformazioni del terreno nelle vicinanze e sulla verticale delle opere da realizzare o esistenti;
- lesioni, spostamenti e rotazioni a carico degli edifici e delle strutture esistenti;
- vibrazioni indotte dai lavori.

Per quanto riguarda le opere esistenti lungo il Torbella, saranno sottoposti a monitoraggio i ponti P2-P6 ed i muri di sponda (M2-M11) ubicati lungo i tratti interessati dai lavori di riprofilatura dell'alveo, le cui ubicazioni sono indicate nelle figure 8.1 e 8.2. Il monitoraggio prevede l'installazione di mire ottiche o miniprismi sulle strutture esistenti per la verifica di eventuali spostamenti, l'installazione di clinometri a piastra per rilevare eventuali fuori piombo e deviazioni dalla verticale, e fessurimetri meccanici in corrispondenza di crepe e fessure esistenti e/o che dovessero riscontrarsi nel corso dei lavori.



Figura 8.1 Ponti esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti.



Figura 8.2 Muri esistenti lungo il torrente Torbella interessati dal monitoraggio degli spostamenti.

Viene inoltre monitorato lo scavo dello scatolare di collegamento mediante inclinometri inseriti nei micropali di sostegno in corrispondenza del viadotto autostradale, caposaldi topografici a tergo dell'opera di sostegno, mire ottiche o miniprismi, fessurimetri e clinometri in corrispondenza dell'opera di sostegno, dei fabbricati esistenti e del ponticello di accesso all'area condominiale. Sugli edifici prudentemente sarà effettuato anche uno stato di consistenza ante operam per supportare l'amministrazione a fronte di eventuali contenziosi evitando possibili strumentalizzazioni. In quest'area sarà previsto altresì un monitoraggio delle vibrazioni indotte dai lavori.

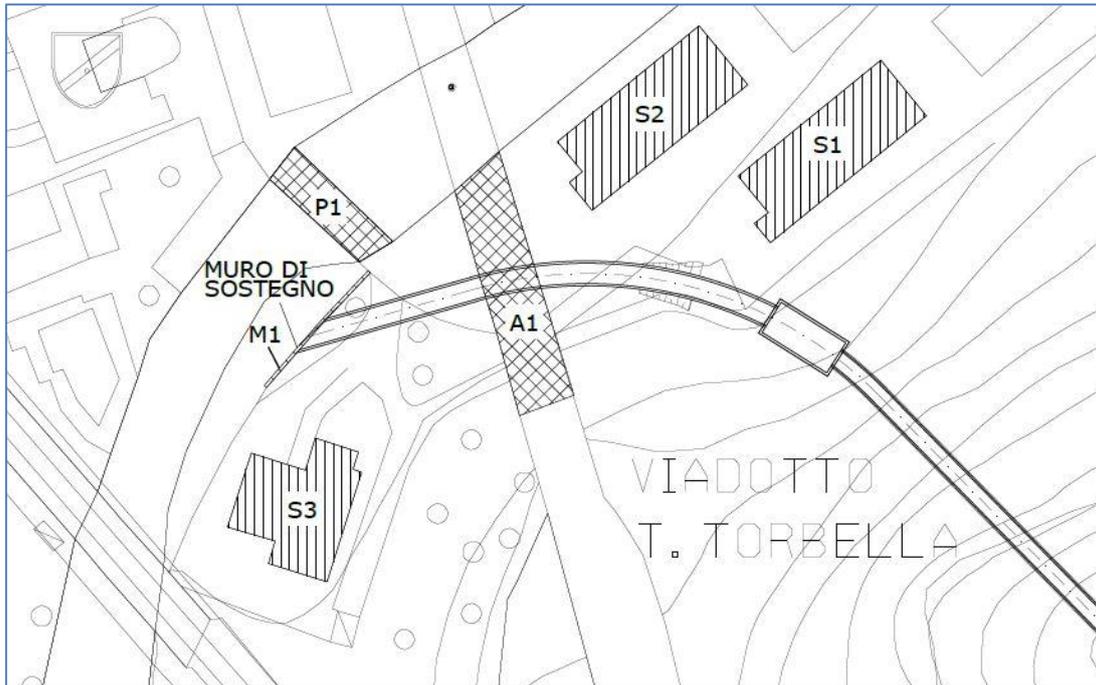


Figura 8.3 Opere monitorate lungo lo scatolare di restituzione

Nel corso dei lavori saranno eseguiti rilievi geologici dei fronti di scavo per verificare il rispetto del modello geologico ed idrogeologico di progetto; eventuali difformità saranno evidenziate verificando le possibili ricadute sull'interazione opere terreni.



## 9. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto esposto nel presente documento, e rimandando al progetto per maggiori dettagli interventi le indagini geognostiche eseguite, il modello stratigrafico e geotecnico di riferimento, il dimensionamento delle opere d'arte, delle opere di sostegno e di consolidamento, si attesta la compatibilità dell'intervento con i manufatti circostanti escludendo ripercussioni dell'intervento sul comportamento statico e sulla funzionalità dei manufatti adiacenti.

Fermo restando gli ulteriori approfondimenti demandati alla fase di progettazione esecutiva, resta il fatto che l'effettiva interazione fra opere e terreni dovrà comunque essere verificata e confermata in corso d'opera mediante rilievi geologici dei fronti di scavo aperti, e mediante l'adozione del piano di monitoraggio opportunamente previsto.