

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

## PROGETTO DEFINITIVO

## RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

### OPERE PRINCIPALI – GALLERIE ARTIFICIALI

Galleria artificiale Parei da km 83+948 a km 84+405

Relazione calcolo opere provvisionali

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L G A 1 1 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave 	Gennaio 2022	M. Severi 	Gennaio 2022	G. Fadda 	Gennaio 2022	A. Perego Gennaio 2022
File: IV0I00D26CLGA1100002A.doc								n. Elab.: X

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	6
3.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	6
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	7
5.1	CALCESTRUZZI .....	7
5.2	ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO .....	7
5.3	ACCIAIO PER TUBOLARI E CARPENTERIA METALLICA .....	7
5.4	ACCIAIO ARMONICO PER TIRANTI DI ANCORAGGIO .....	7
5.5	MISCELA DI INIEZIONE (TIRANTI) .....	8
5.6	MALTA CEMENTIZIA (MICROPALI) .....	8
6	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA .....	9
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	10
8	APPROCCIO PROGETTUALE .....	11
9	VERIFICA BERLINESE DI MICROPALI .....	12
9.1	ANALISI DEI CARICHI .....	13
9.2	CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	13
9.3	FASI DI CALCOLO .....	14
9.4	RISULTATI E VERIFICHE DEL MODELLO DI CALCOLO – LATO GENOVA .....	15
9.4.1	<i>Risultati ottenuti dal modello di calcolo.....</i>	<i>15</i>
9.4.2	<i>Verifiche strutturali dei tubolari metallici.....</i>	<i>17</i>
9.4.3	<i>Verifiche geotecniche e strutturali dei tiranti di ancoraggio .....</i>	<i>18</i>
9.4.4	<i>Verifica strutturale delle travi di ripartizione .....</i>	<i>21</i>
9.4.5	<i>Verifica della resistenza del terreno a valle .....</i>	<i>22</i>
9.4.6	<i>Verifica di stabilità globale .....</i>	<i>22</i>



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI  
CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	3 di 32

9.4.7	Verifiche SLE.....	23
9.5	RISULTATI E VERIFICHE DEL MODELLO DI CALCOLO – LATO VENTIMIGLIA .....	24
9.5.1	Risultati ottenuti dal modello di calcolo.....	24
9.5.2	Verifiche strutturali dei tubolari metallici.....	26
9.5.3	Verifiche geotecniche e strutturali dei tiranti di ancoraggio .....	27
9.5.4	Verifica strutturale delle travi di ripartizione .....	30
9.5.5	Verifica della resistenza del terreno a valle .....	31
9.5.6	Verifica di stabilità globale .....	31
9.5.7	Verifiche SLE.....	32

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [2] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 11 00 002	REV. A	FOGLIO 4 di 32

## 1 PREMESSA

La presente relazione è inerente alla verifica delle opere provvisorie previste in corrispondenza degli imbocchi della galleria artificiale Parei, opera individuata con il codice GA11 nell'ambito del progetto di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, tratta finale Ligure-Andora.

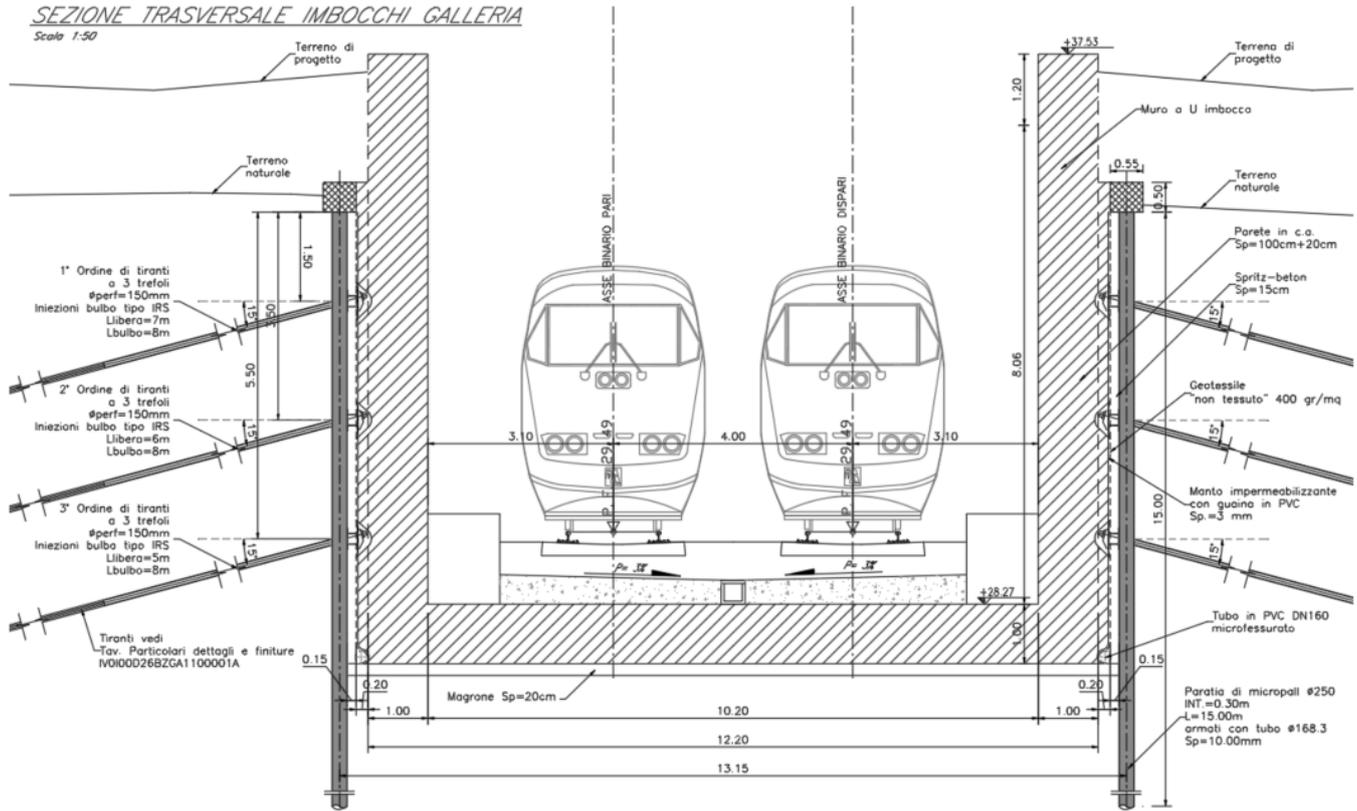
Si tratta, in particolare delle seguenti opere:

- Zona imbocco lato Genova da Prog 83+919 a Prog. 83+948: berlinese di micropali Ø168.3 sp. 10 mm, diametro di perforazione 250 mm, interasse 0.3 m, lunghezza 15 m. Sono inoltre previsti 3 ordini di tiranti realizzati con 3 trefoli in acciaio armonico, diametro di perforazione 150 mm e interasse 2.60 m;
- Zona imbocco lato Ventimiglia da Prog 84+405 a Prog. 84+423: come imbocco lato Genova;

Come riportato al Par. 2.4.1 delle NTC2018, le verifiche sismiche sono omesse per opere provvisorie.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è il dimensionamento geotecnico e strutturale della berlinese di micropali provvisoria posizionata agli imbocchi della galleria artificiale GA11.



**Figura 2-1 Sezione trasversale all'imbocco alla galleria artificiale Parei**

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [2] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA <b>IV0I</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 11 00 002	REV. A	FOGLIO 6 di 32

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Documenti Referenziati

Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti elaborati grafici:

- I. Planimetria generale dell'intervento (IV0I00D26P9GA1100001A)
- II. Pianta fondazioni e sezione longitudinale 1/2 (IV0I00D26P9GA1100002A)
- III. Pianta fondazione e sezione longitudinale 2/2 (IV0I00D26P9GA1100003A)
- IV. Carpenteria imbocchi e fasi realizzative (IV0I00D26BBGA1100001A)
- V. Carpenteria sezione corrente e fasi realizzative (IV0I00D26BBGA1100002A)
- VI. Sezioni trasversali 1/2 (IV0I00D26WBGA1100001A)
- VII. Sezioni trasversali 2/2 (IV0I00D26WBGA1100002A)
- VIII. Particolari, dettagli e finiture (IV0I00D26BZGA1100001A)

#### 3.2 Documenti Correlati

I documenti di calcolo correlati alla presente sono:

- I. Relazione descrittiva (IV0I00D26RGGA1100001A)
- II. Relazione di calcolo strutture (IV0I00D26CLGA1100001A)

### 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli redatti nelle specifiche relazioni sono svolti in ottemperanza alla Normativa vigente :

- NTC 2018 – D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018
- RFI-DTC-ICI-PO SP INF 001 A - Istruzione per la progettazione e l'esecuzione di ponti ferroviari
- RFI-DTC-ICI-PO SP INF 004 A - Istruzione 44B – istruzioni tecniche per la progettazione di manufatti sotto binario da costruire in zona sismica.



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI  
CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	7 di 32

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1 Calcestruzzi

#### Calcestruzzo per pali/diaframmi di fondazione gettati in opera

Classe di esposizione ambientale XC2

Classe di resistenza caratteristica a compressione C25/30

Classe di resistenza allo scarico S4

#### Calcestruzzo per imbocchi

Classe di esposizione ambientale XC4

Classe di resistenza caratteristica a compressione C32/40

Classe di resistenza allo scarico S4

### 5.2 Acciaio da cemento armato

È previsto l'utilizzo di acciaio appartenente alla classe B450C, con le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ ;

Resistenza caratteristica a rottura  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ ;

Modulo elastico  $E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$ .

### 5.3 Acciaio per tubolari e carpenteria metallica

Tipo S275JR

Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} \geq 275 \text{ MPa}$

Resistenza caratteristica a trazione  $f_{yk} \geq 430 \text{ MPa}$

### 5.4 Acciaio armonico per tiranti di ancoraggio

Diametro trefoli 0.6'' ( $A_{tref} = 139 \text{ mm}^2$ )



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA - TRATTA FINALE L.  
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI  
CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	8 di 32

Tensione minima all'1% di def. sotto carico  $f_{p(1)k}=1670$  MPa

Tensione di rottura a trazione  $f_{ptk}= 1860$  MPa

### 5.5 Miscela di iniezione (Tiranti)

Classe di resistenza C20/25

Massimo rapporto a/c 0.4÷0.5

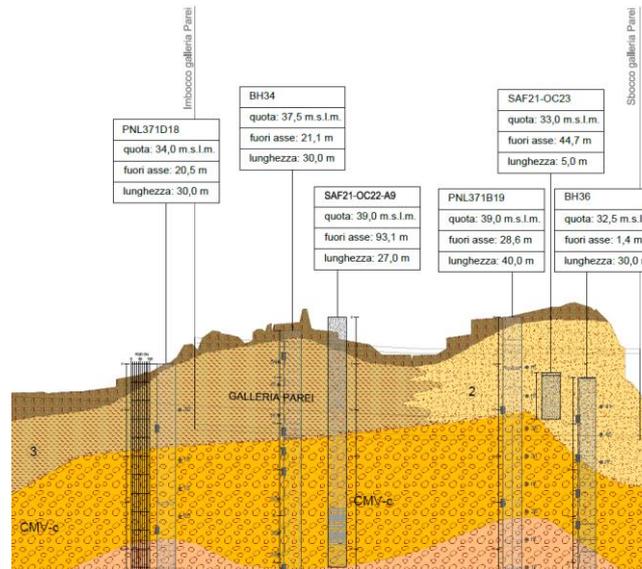
### 5.6 Malta cementizia (Micropali)

Resistenza minima a compressione > 10 MPa

Massimo rapporto a/c 0.5÷0.7

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

Per il calcolo delle opere è stato fatto riferimento al profilo geologico (Figura 6-1).



**Figura 6-1 Stralcio profilo geologico-geotecnico**

Le principali unità riscontrate lungo lo sviluppo della galleria Parei sono le seguenti:

- Terreno di riporto,
- Unità 2, composta da depositi alluvionali incoerenti, costituiti prevalentemente da sabbia e ghiaia, rilevata in corrispondenza dell'imbocco lato Ventimiglia,
- Unità 3, composta da depositi alluvionali coesivi, costituiti prevalentemente da limo e argilla, rilevata in corrispondenza dell'imbocco lato Genova,
- CMV-c (Facies coesiva dei conglomerati di Monte Villa), costituita da argilla limosa e limo argilloso debolmente sabbioso.

La caratterizzazione geotecnica, con riferimento ai parametri fisico-meccanici delle grandezze, è quella riportata nella Relazione Geotecnica della tratta e riassunta in Tabella 6-1.

	$\gamma$ [kN/mc]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E'$ [MPa]
Unità 1	19.0	-	0	25	15
Unità 2	20.0	-	0	35	30
Unità 3	20.0	180	10	23	15
CMV-c	20.0	175	10	25	15

**Tabella 6-1 Principali caratteristiche delle unità litostratigrafiche riscontrate lungo la galleria Parei**

La falda è stata rilevata a quote decisamente inferiori rispetto alla posizione della galleria.

## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Agli imbocchi della galleria Parei è prevista la realizzazione di berlinesi di micropali tirantate per il sostegno degli scavi. Tali berlinesi sono realizzati con profili tubolari in acciaio S275 Ø168.3 mm spessore 10 mm, lunghezza 15 m, diametro di perforazione 250 mm e interasse 0.3 m.

Sono inoltre previsti 3 ordini di tiranti realizzati con 3 trefoli in acciaio armonico realizzati con iniezione tipo IRS e diametro di perforazione di 150 mm; l'interasse previsto è pari a 2.1 m. La lunghezza del bulbo di ancoraggio è pari a 8 m, mentre la lunghezza libera varia da 5 a 7 m.

In merito alle altezze di scavo previste, per l'imbocco lato Genova tale altezza risulta compresa tra 7.0 m e 8.05 m circa, mentre per il lato Ventimiglia varia da 6.10 a 10 m circa.

Le seguenti figure illustrano le sezioni longitudinali degli imbocchi.

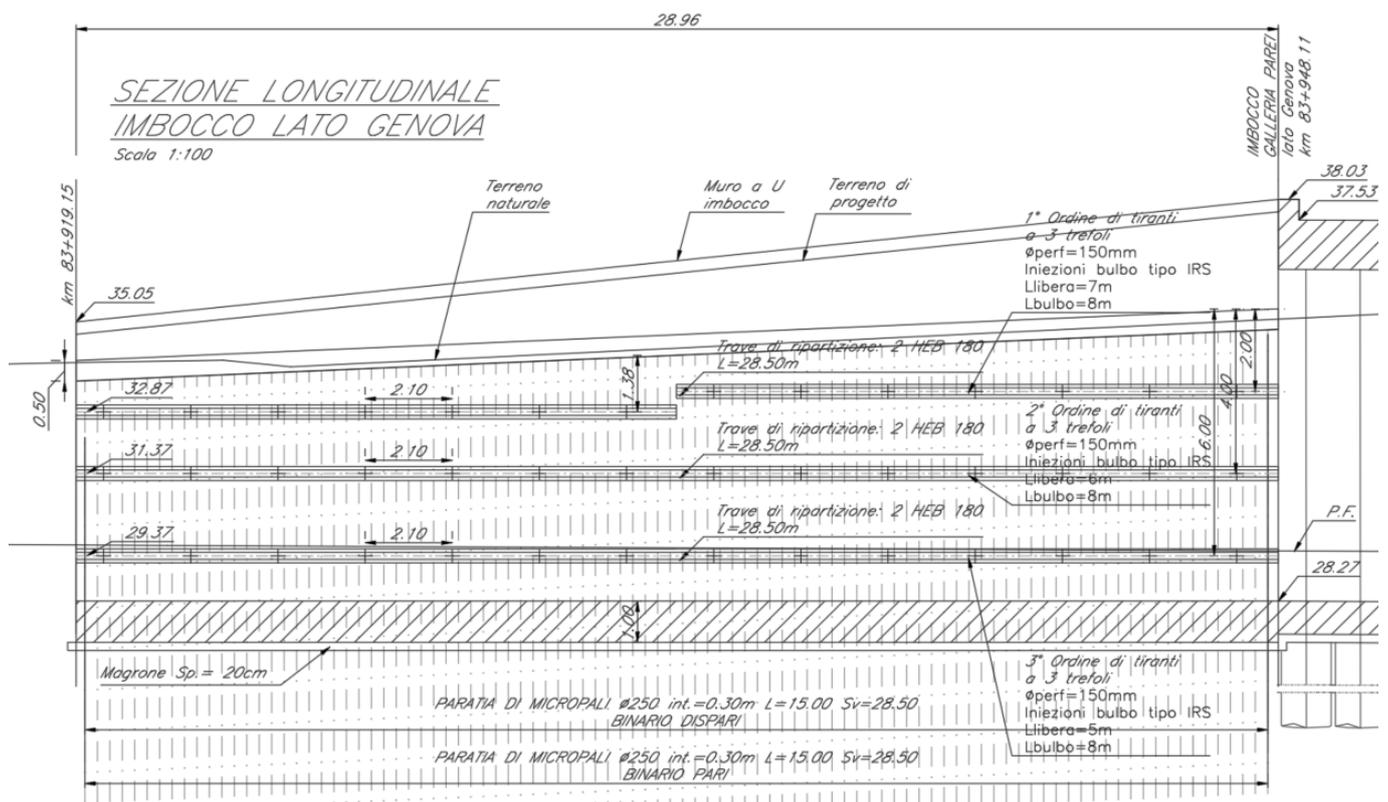


Figura 7-1 Sezione longitudinale imbocco lato Genova

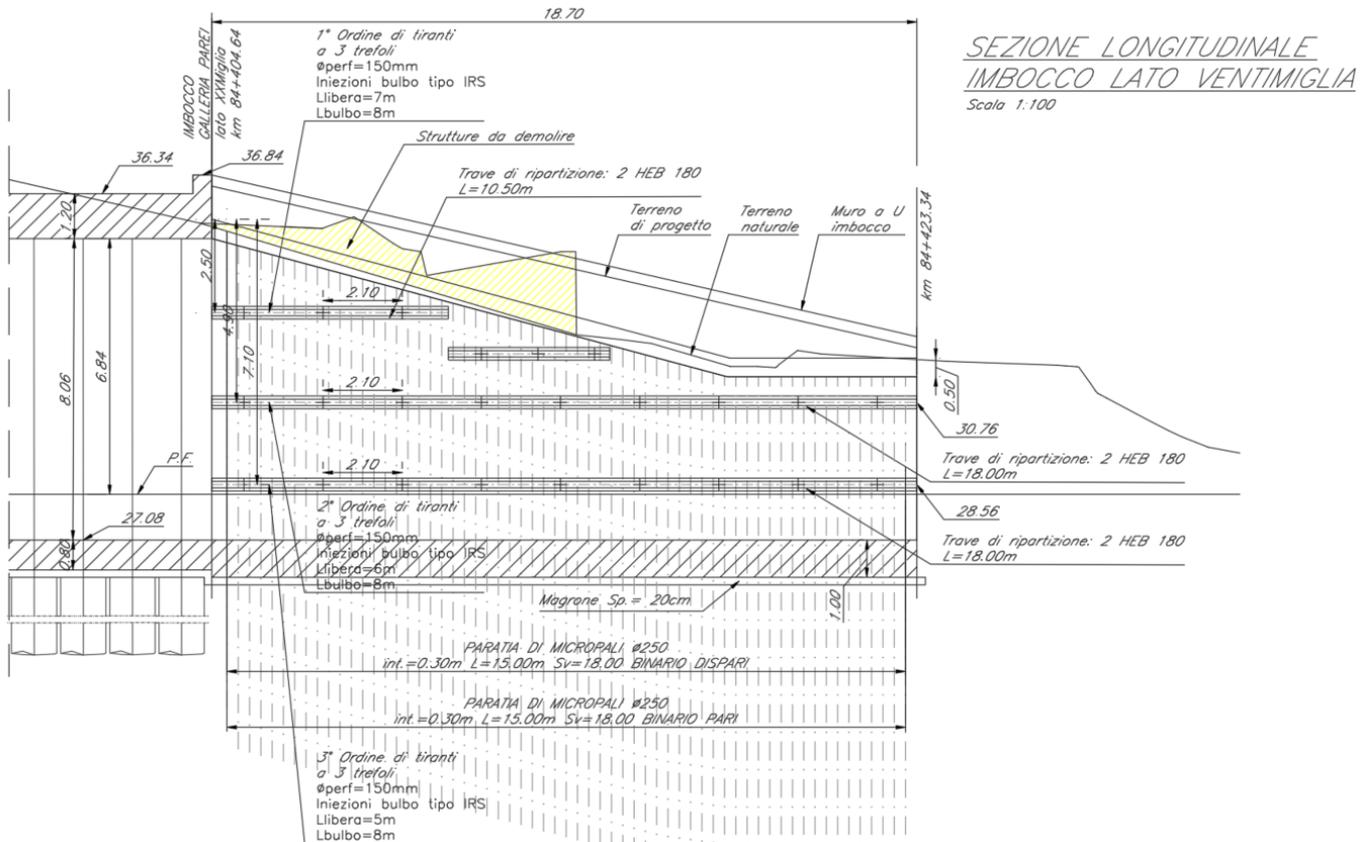


Figura 7-2 Sezione longitudinale imbocco lato Ventimiglia

## 8 APPROCCIO PROGETTUALE

Le verifiche strutturali eseguite per il dimensionamento delle opere provvisorie previste in corrispondenza degli imbocchi della galleria Parei sono state svolte in accordo alle NTC2018, implementando un modello di carico per ciascuno dei due imbocchi.

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [2] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 11 00 002	REV. A	FOGLIO 12 di 32

## 9 VERIFICA BERLINESE DI MICROPALI

Le verifiche della paratia verranno effettuate mediante il codice di calcolo agli elementi finiti PARATIE PLUS della Harpaceas.

La paratia viene schematizzata mediante elementi finiti di tipo trave, definiti nel piano da un nodo iniziale ed uno finale e dalle caratteristiche inerziali della sezione trasversale rettangolare equivalente. Ogni nodo dell'elemento possiede due gradi di libertà: la traslazione in direzione orizzontale e la rotazione intorno ad un asse ortogonale al piano di riferimento.

Il terreno è simulato mediante elementi monodimensionali tipo molla, connessi alla paratia in ogni suo nodo. Il comportamento meccanico della molla è di tipo elasto-plastico: essa reagisce elasticamente fino ai valori limiti dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del verso dello spostamento, alla pressione attiva o rispettivamente passiva del terreno.

In base alle componenti di sforzo efficace verticali ed orizzontali, si definisce per ciascuna profondità una funzione di plasticità, che a sua volta definisce lo stato nel quale si trova l'elemento che schematizza il terreno. In particolare sono possibili due stati distinti: una prima fase elastica, nella quale il terreno ha comportamento perfettamente elastico ed una fase plastica, in cui il terreno è sottoposto ad uno stato di sollecitazione non più compatibile con la resistenza a rottura. Il criterio di resistenza adottato è quello di Mohr-Coulomb.

La deformabilità della molla è funzione dello stato tensionale cui risulta sottoposta: quando si trova in campo elastico essa è interamente definita dall'espressione della rigidezza della molla:  $K = E \cdot \Delta / L$ . Nell'espressione  $E$  è il modulo di elasticità del terreno,  $L$  la lunghezza della molla e  $\Delta$  l'interasse tra le singole molle.

La lunghezza della molla  $L$  è variabile in funzione delle dimensioni della zona di terreno coinvolta nel movimento, in condizioni sia di spinta attiva sia di spinta passiva.

Lo stato tensionale iniziale della molla, nelle condizioni precedenti alle operazioni di scavo e/o all'applicazione di qualsiasi azione esterna sulla paratia, è funzione della tensione verticale litostatica secondo il coefficiente di spinta a riposo  $k_0$  attraverso la relazione  $\sigma'_h = k_0 \sigma'_v$ .

Nelle condizioni successive alle operazioni di scavo, o all'applicazione di azioni esterne sulla struttura, le reazioni offerte dalla molla si incrementano o diminuiscono (a seconda del verso della deformazione) raggiungendo al limite le tensioni corrispondenti alle condizioni di spinta attiva o passiva, rispettivamente per decrementi o incrementi di tensione.

Per la valutazione del  $k_0$  si utilizza l'espressione:  $k_0 = 1 - \text{sen } \varphi$ .

I coefficienti di spinta attiva e passiva  $k_a$  e  $k_p$  saranno valutati ipotizzando un angolo di attrito tra terreno e struttura pari a  $0.5 \varphi$ .

Per quanto riguarda la verifica secondo NTC18, sarà considerato sempre l'Approccio 1, distinguendo tra combinazione 2 (A2+M2+R1) per verifiche geotecniche, e combinazione 1 (A1+M1+R1) per il calcolo delle sollecitazioni da considerare nelle verifiche strutturali.

In accordo alle NTC18, i tiranti di ancoraggio saranno verificata considerando l'approccio A1+M1+R3.

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [2] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 11 00 002	REV. A	FOGLIO 13 di 32

## 9.1 Analisi dei carichi

Per il dimensionamento della berlinese è stato considerato un carico variabile di 20 kPa agente a tergo della berlinese rappresentativo dell'eventuale presenza dei mezzi di cantiere.

La falda è tale da non interessare nell'opera in questione.

## 9.2 Caratteristiche del modello di calcolo

Le berlinesi di micropali previste in corrispondenza degli imbocchi della galleria Parei sono realizzate con profili tubolari (acciaio S275) Ø168.3 sp. 10 mm, Ø perforazione 250 mm, interasse 0.3 m e lunghezza pari a 15 m.

Sono inoltre presenti 3 tiranti di ancoraggio, realizzati con 3 trefoli da 0.6'' in acciaio armonico, realizzati con iniezioni tipo IRS.

Le travi di ripartizione sono costituite da una coppia di profili HEB180 in acciaio S355.

Al Par. 7 sono illustrate le sezioni tipologiche previste in corrispondenza degli imbocchi lato Genova e Ventimiglia. I modelli di calcolo sono stati implementati considerando il valore massimo di altezza di scavo previsto per ciascun imbocco.

Come riportato al Par. 6.5.2.2 delle NTC2018 è stato considerato un incremento di altezza di scavo valutato considerando il 10% della differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opere vincolate.

Le seguenti figure illustrano i modelli di calcolo implementati al raggiungimento dell'ultima fase di scavo.

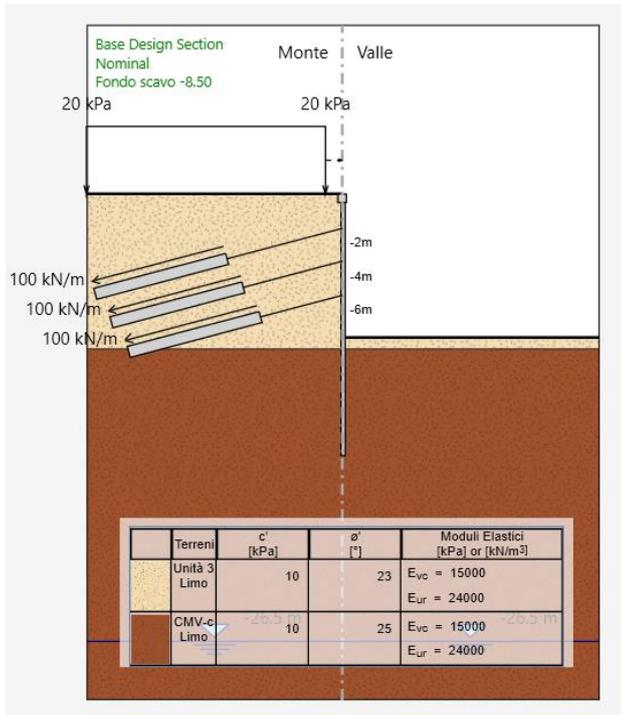


Figura 9-1 Modello di calcolo – lato Genova

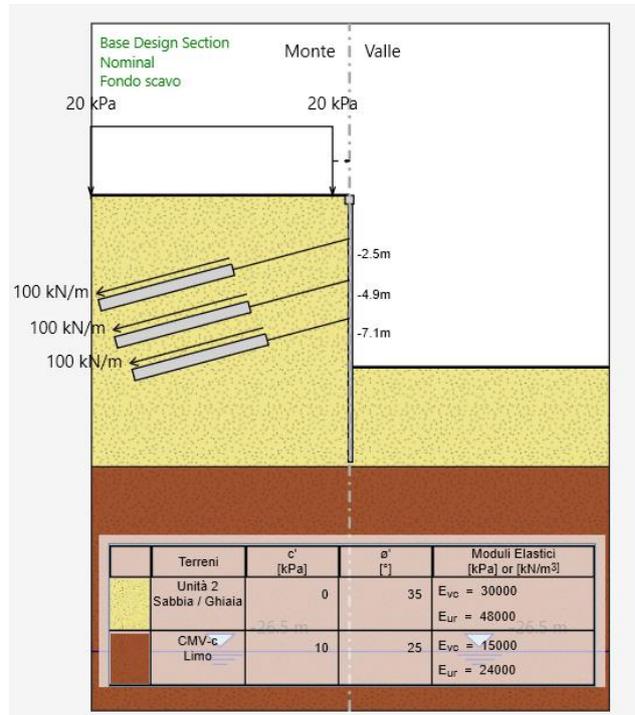


Figura 9-2 Modello di calcolo – lato Ventimiglia

### 9.3 Fasi di calcolo

Le fasi esecutive considerate nel modello di calcolo della berlinese all'imbocco lato Genova sono le seguenti:

1. Condizioni geostatiche;
2. Realizzazione della paratia e cordolo di sommità (carico variabile 20 kPa a monte),
3. Prima fase di scavo (fino a -2.5 m dall'estradosso del cordolo, carico variabile 20 kPa a monte),
4. Realizzazione primo ordine di tiranti (-2.0 m dall'estradosso del cordolo, carico variabile 20 kPa a monte) e tesatura (210 kN/m);
5. Seconda fase di scavo (fino a -4.50 m dall'estradosso del cordolo, carico variabile 20 kPa a monte);
6. Realizzazione secondo ordine di tiranti (-4.0 m dall'estradosso del cordolo, carico variabile 20 kPa a monte) e tesatura (210 kN/m);
7. Terza fase di scavo (fino a -6.50 m dall'estradosso del cordolo, carico variabile 20 kPa a monte);
8. Realizzazione terzo ordine di tiranti (-6.0 m dall'estradosso del cordolo, carico variabile 20 kPa a monte) e tesatura (210 kN/m);
9. Scavo fino alla quota di fondo scavo (pari al massimo a -8.50 m dall'estradosso del cordolo)

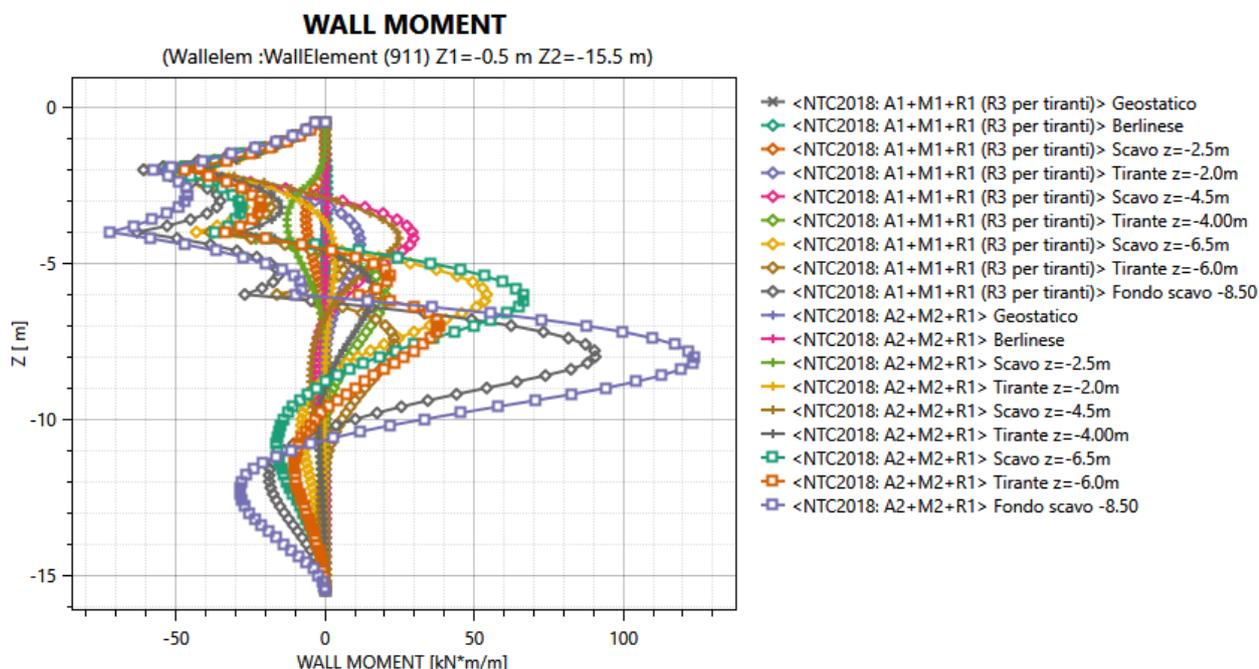
Le fasi esecutive considerate nel modello di calcolo della berlinese all'imbocco lato Ventimiglia sono le seguenti:

10. Condizioni geostatiche,
11. Realizzazione della berlinese e cordolo di sommità,
12. Prima fase di scavo (fino a -3.0 m dall'estradosso del cordolo),
13. Realizzazione primo ordine di tiranti (-2.5 m dall'estradosso del cordolo),
14. Seconda fase di scavo (fino a -5.5 m dall'estradosso del cordolo),
15. Realizzazione secondo ordine di tiranti (-4.9 m dall'estradosso del cordolo),
16. Terza fase di scavo (fino a -8.0 m dall'estradosso del cordolo),
17. Realizzazione terzo ordine di tiranti (-7.10 m dall'estradosso del cordolo),
18. Completamento scavo (pari al massimo a -10.05 dall'estradosso del cordolo).

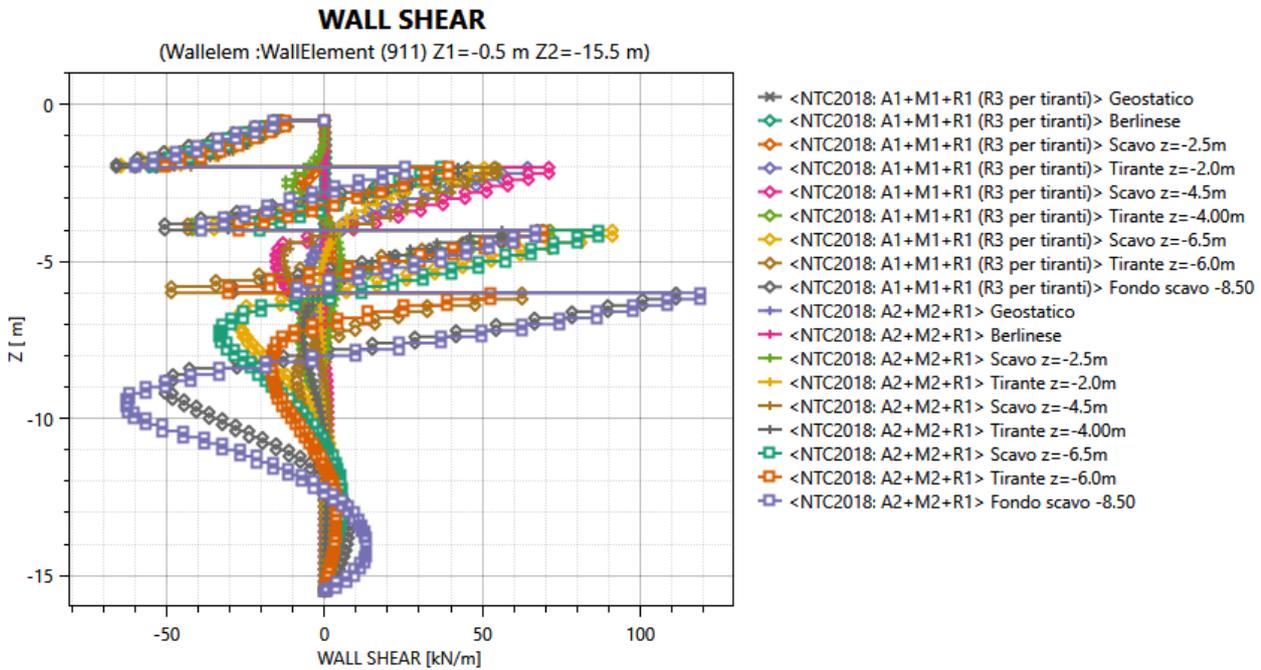
## 9.4 Risultati e verifiche del modello di calcolo – lato Genova

### 9.4.1 Risultati ottenuti dal modello di calcolo

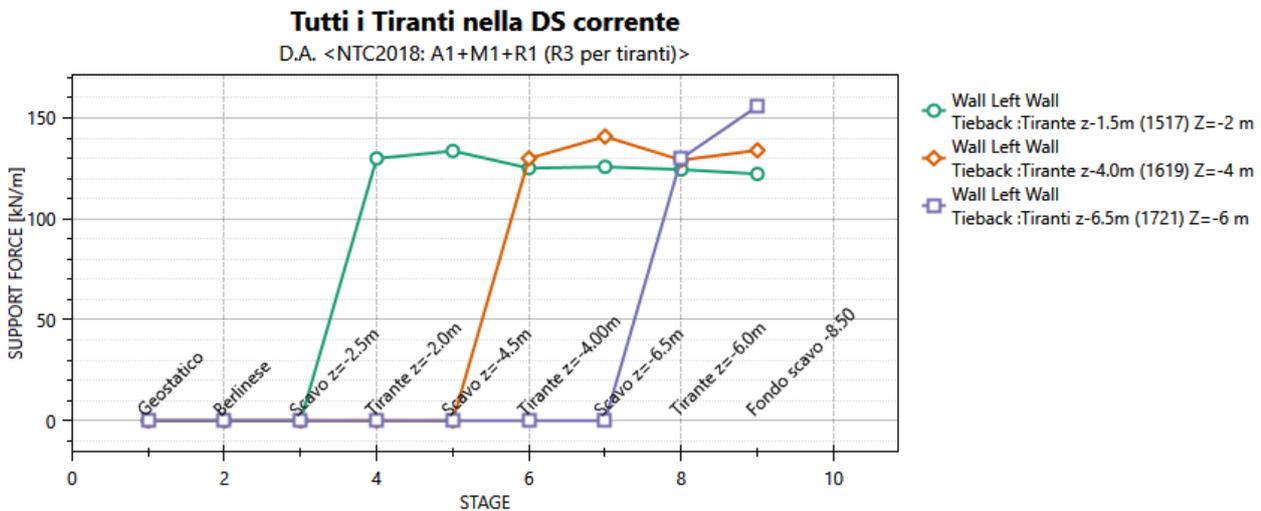
I seguenti diagrammi illustrano le sollecitazioni agenti negli elementi strutturali ottenute dal modello di calcolo.



**Figura 9-3 Berlinese di micropali – Momento flettente – Inviluppo comb. A1+M1+R1 e A2+M2+R1**



**Figura 9-4 Berlinese di micropali – Taglio – Involuppo comb. A1+M1+R1 e A2+M2+R1**



**Figura 9-5 Tiranti di ancoraggio – Azione assiale – Comb. A1+M1+R3**



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA - TRATTA FINALE L. ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	17 di 32

La seguente tabella riepiloga i risultati ottenuti in termini di sollecitazioni agenti sulle strutture in esame.

	Momento flettente [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Azione assiale [kN/m]
Berlinese	124	120	-
Tiranti di ancoraggio	-	-	132 (ordine superiore) 141 (ordine intermedio) 156 (ordine inferiore)

**Tabella 9-1 Riepilogo sollecitazione ottenute dal modello di calcolo**

#### 9.4.2 Verifiche strutturali dei tubolari metallici

La berlinese di micropali è costituita da tubolari in acciaio S275 di diametro Ø168.3 mm, spessore 10.0 mm e interasse pari a 0.3 m.

Come riportato nella seguente tabella, le verifiche strutturali risultano soddisfatte.

Materiale			Azioni di calcolo		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2		
Acciaio	classe	S 275 -	Azione assiale	$n_s$ kN/m						
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{Mb}$	1,05 -	Taglio	$v_s$ kN/m		112,000		120,00		
Tensione di snervamento	$f_{yk}$	275 MPa	Momento	$m_s$ kNm/m		91,000		124,00		
Tensione di calcolo	$f_{yd}$	262 MPa	Combinazioni di carico		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2		
Sezione (UNI EN 10219-2:2006)			Coefficiente di sicurezza	$\gamma$ -		1		1		
Diametro esterno	D	168,3 mm	Interasse	i m		0,3		0,3		
Spessore (s <= 40 mm)	s	10 mm	Azioni di progetto		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2		
Diametro interno	d	148,3 mm	Azione assiale	$N_{sd}$ kN	0	0	0	0		
Momento d'inerzia	I	1,56E-05 m <sup>4</sup>	Taglio	$V_{sd}$ kN	0,0	34	0	36,0		
Area sezione trasversale	A	4,97E-03 m <sup>2</sup>	Momento	$M_{sd}$ kNm	0,0	27	0	37,2		
Modulo resistente a flessione	$W_{pl}$	2,51E-04 m <sup>3</sup>	Effetto delle azioni combinate (N, V, M)		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2		
Modulo resistente a taglio	$A_v = 2A/\pi$	3,17E-03 m <sup>2</sup>	$[(2 \cdot V_{sd} / V_{pl,Rd}) - 1]^2$		$\rho$	-	0,000	0,000	0,000	0,000
Area resistente a taglio	$A^*_v = A$	4,97E-03 m <sup>2</sup>	$N_{sd} / [A \cdot (1 - \rho \cdot a_v) \cdot f_{yd}]$		n	-	0,000	0,000	0,000	0,000
$A^*_v / A$	$a_v$	1,000 -	Momento resistente ridotto (*)	$M_{pl,Rd,V,N}$ kN·m	66	66	66	66		
Azioni resistenti elementari			Verifiche		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2		
Azione assiale resistente	$N_{pl,Rd}$	1302 kN	Azione assiale	$N_{sd} \leq N_{pl,Rd}$	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.		
Taglio resistente	$V_{pl,Rd}$	479 kN	Taglio	$V_{sd} \leq V_{pl,Rd}$	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.		
Momento resistente	$M_{pl,Rd}$	66 kN·m	Presso(Tenso)-Flessione	$M_{sd} \leq M_{pl,Rd,V,N}$	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.		

**Figura 9-6 Verifica strutturale dei profili tubolari**



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	18 di 32

### 9.4.3 Verifiche geotecniche e strutturali dei tiranti di ancoraggio

La verifica di tipo geotecnico allo SLU per sfilamento dell'ancoraggio è eseguita come indicato al §6.6.2 delle NTC. La verifica a sfilamento si esegue confrontando la massima azione di progetto  $P_d$  con la resistenza di progetto  $R_{ad}$ , determinata applicando alla resistenza caratteristica  $R_{ak}$  il fattore parziale  $\gamma_R$  pari a 1.1.

La forza limite allo sfilamento  $R_{a,c}$  è determinata con il metodo analitico di Bustamante-Doix:

$$R_{a,c} = \pi D_s L_s q_s$$

$D_s$ : diametro medio del bulbo valutato come segue:  $D_s = \alpha D_d$  dove  $\alpha$  è un coefficiente funzione del tipo di iniezione e di terreno (assunto pari a 1.5 per iniezioni di tipo IRS) e  $D_d$  è il diametro di perforazione (pari a 150mm).

$L_s$ : lunghezza di ancoraggio al terreno pari a 8 m;

$q_s$ : tensione di aderenza barra terreno pari a 0.18 MPa. Tale parametro è stato valutato considerando le curve proposte da Bustamante, Doix per terreni di tipo coesivo, considerando un valore di NSPT pari a 15.

La forza limite allo sfilamento caratteristica  $R_{ak}$ , considerando un numero di profili di indagine (coefficiente  $\xi_{a3}$  pari a 1.8) e la resistenza di progetto risultano:

$$R_{ak} = \frac{R_{a,c}}{\xi_{a3}}$$

$$R_{ad} = \frac{R_{ak}}{\gamma_{Ra,t}}$$

La verifica strutturale dei tiranti prevede che il valore di progetto dell'azione sollecitante  $P_d$  sia inferiore alla resistenza di calcolo dell'acciaio  $N_{y,d}$ :

$$P_d < N_{y,d} = \frac{N_{y,k}}{\gamma_s}$$

Dove  $N_{y,k}$  indica la resistenza a snervamento del tirante e  $\gamma_s$  indica il coefficiente parziale relativo all'acciaio.

Nella seguente tabelle sono riportate le verifiche geotecniche e strutturali eseguite, considerando il valore massimo dello sforzo assiale, calcolato moltiplicando il valore a metro lineare ottenuto dal modello numerico per un interasse pari a 2.1m. Come illustrato, le verifiche risultano soddisfatte.

VERIFICA TIRANTI - NTC 2018 6.6.2			
Approccio 2 - Combinazione A1+M1+R3			
<u>Caratteristiche tirante</u>			
Area trefolo	A (mm <sup>2</sup> )	139	
N. trefoli	n	3	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	417	
Acciaio	f <sub>y(t)k</sub> (MPa)	1670	
<u>Sollecitazioni</u>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	277.2	
<u>Resistenza geotecnica allo sfilamento</u>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	150	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.5	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>b</sub> (Mpa)	0.18	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	225	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>sm</sub> (kN)	1018	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	565	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.1	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
<b>Resistenza di progetto sfilamento</b>	<b>R<sub>sd</sub> (kN)</b>	<b>514</b>	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>sd</sub>	0.54	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<u>Resistenza strutturale tiranti</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
<b>Resistenza di progetto trazione</b>	<b>N<sub>rd</sub> (kN)</b>	<b>606</b>	
Verifica STR tiranti	P <sub>d</sub> / N <sub>rd</sub>	0.46	
VERIFICA STR SODDISFATTA			
<u>Verifica gerarchia resistenze tiranti a trefoli di acciaio armonico</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	565	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>sk</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

**Figura 9-7 Verifiche geotecniche e strutturali tiranti di ancoraggio – Ordine superiore**

VERIFICA TIRANTI - NTC 2018 6.6.2			
Approccio 2 - Combinazione A1+M1+R3			
<u>Caratteristiche tirante</u>			
Area trefolo	A (mm <sup>2</sup> )	139	
N. trefoli	n	3	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	417	
Acciaio	f <sub>y(t)k</sub> (MPa)	1670	
<u>Sollecitazioni</u>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	296.1	
<u>Resistenza geotecnica allo sfilamento</u>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	150	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.5	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>b</sub> (Mpa)	0.18	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	225	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>sm</sub> (kN)	1018	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	565	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.1	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
<b>Resistenza di progetto sfilamento</b>	<b>R<sub>sd</sub> (kN)</b>	<b>514</b>	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>sd</sub>	0.58	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<u>Resistenza strutturale tiranti</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
<b>Resistenza di progetto trazione</b>	<b>N<sub>rd</sub> (kN)</b>	<b>606</b>	
Verifica STR tiranti	P <sub>d</sub> / N <sub>rd</sub>	0.49	
VERIFICA STR SODDISFATTA			
<u>Verifica gerarchia resistenze tiranti a trefoli di acciaio armonico</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	565	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>sk</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

**Figura 9-8 Verifiche geotecniche e strutturali tiranti di ancoraggio – Ordine intermedio**

<b>VERIFICA TIRANTI - NTC 2018 6.6.2</b>			
<i>Approccio 2 - Combinazione A1+M1+R3</i>			
<b>Caratteristiche tirante</b>			
Area trefolo	A (mm <sup>2</sup> )	139	
N. trefoli	n	3	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	417	
Acciaio	f <sub>y(t)k</sub> (MPa)	1670	
<b>Sollecitazioni</b>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	327.6	
<b>Resistenza geotecnica allo sfilamento</b>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	150	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.5	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>s</sub> (Mpa)	0.18	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	225	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>adm</sub> (kN)	1018	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>ak</sub> (kN)	565	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.1	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
<b>Resistenza di progetto sfilamento</b>	<b>R<sub>ad</sub> (kN)</b>	<b>514</b>	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>ad</sub>	0.64	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<b>Resistenza strutturale tiranti</b>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
<b>Resistenza di progetto trazione</b>	<b>N<sub>rd</sub> (kN)</b>	<b>606</b>	
Verifica STR tiranti	P <sub>d</sub> / N <sub>rd</sub>	0.54	
VERIFICA STR SODDISFATTA			
<b>Verifica gerarchia resistenze tiranti a trefoli di acciaio armonico</b>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>ak</sub> (kN)	565	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>ak</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

**Figura 9-9 Verifiche geotecniche e strutturali tiranti di ancoraggio – Ordine inferiore**

#### 9.4.4 Verifica strutturale delle travi di ripartizione

Le travi di ripartizione dei tiranti sono costituite da una coppia di HEA 180 in acciaio S275. Le sollecitazioni sulle travi sono ottenute considerando uno schema statico di trave continua su più appoggi, rappresentati dai tiranti (interasse 2.10m). Il carico applicato, considerato uniforme, è dato dalla reazione dei tiranti per metro lineare di paratia.

Nella tabella seguente è riportata la verifica a flessione delle travi di ripartizione calcolata per il massimo valore della reazione dei tiranti ottenuto dal modello di calcolo.

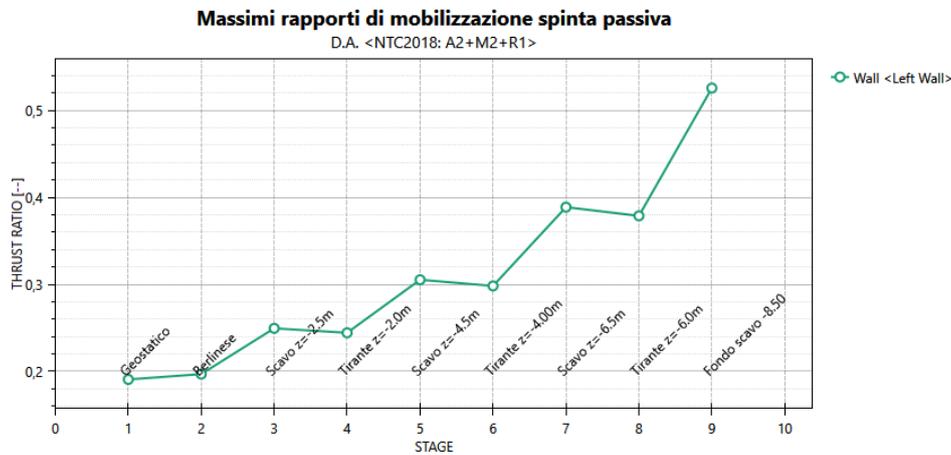
Caratteristiche dei materiali			
tipologia acciaio		S275	
sezione formata		a caldo	
tensione di snervamento dell'acciaio	$f_{yK}$	275	[MPa]
modulo di elasticità dell'acciaio	E	210000	[MPa]
coefficiente parziale sulle resistenze	$\gamma_{M0}$	1.05	[-]
coefficiente parziale sulle resistenze	$f_{yK}/\gamma_{M0}$	262	[-]
Geometria della trave			
profilo		HEB 180	
modulo plastico a flessione	$W_{pl}$	482	[cm <sup>3</sup> ]
Verifica a flessione			
forza assiale nell'ancoraggio del modello	$N_{model}$	156	[kN/m]
passo degli ancoraggi	s	2.1	[m]
sforzo Normale di progetto	$N_{Ed}$	327.6	[kN]
numero di profili accoppiati	n	2	-
momento massimo agente	$M_{Ed}$	86.0	[kN m]
modulo di resistenza plastico	$W_{pl}$	482	[cm <sup>3</sup> ]
momento resistente plastico	$M_{pl,Rd}$	252.5	[kN m]
momento resistente di calcolo	$M_{c,Rd}$	252.5	[kN m]
rapporto momento agente/resistente	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$	0.34	-
Verifica OK	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$		

Figura 9-10 Verifica strutturale trave di ripartizione

#### 9.4.5 Verifica della resistenza del terreno a valle

Per la verifica di stabilità si valuta la percentuale di spinta passiva mobilitata in corrispondenza della massima altezza di scavo, per la combinazione A2+M2+R1 (GEO) statica. I coefficienti di sicurezza sono incorporati nei coefficienti parziali che si riferiscono all'approccio di calcolo prescelto: pertanto nei riguardi di una verifica allo Stato Limite Ultimo, la spinta sollecitante potrebbe, al limite, eguagliare la resistenza passiva di progetto.

Come illustrato nelle seguenti figure, in corrispondenza della massima altezza di scavo si mobilita il 54% di spinta passiva, la verifica di stabilità risulta quindi soddisfatta.

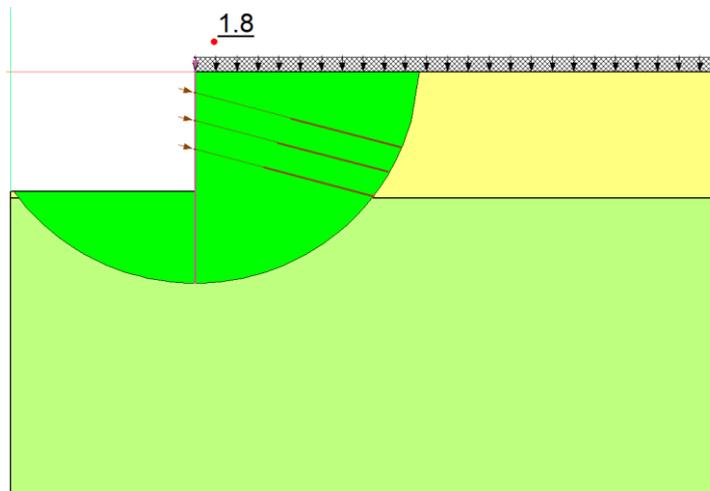


**Figura 9-11 Comb. A2+M2+R1 – Mobilitazione della spinta passiva a valle della berlinese di micropali**

#### 9.4.6 Verifica di stabilità globale

Si riporta a seguire uno screenshot dei risultati relativo alla verifica di stabilità di svolta con il software SLOPE in corrispondenza dell'imbocco lato Genova.

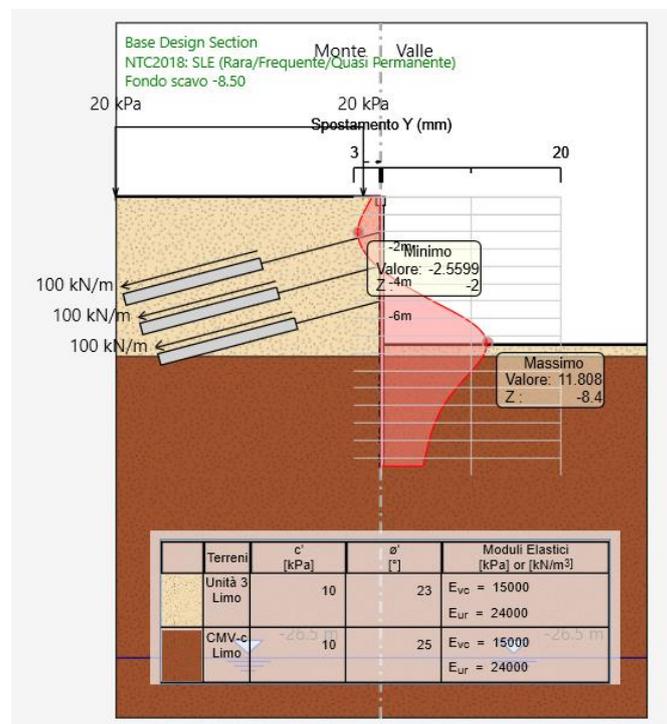
Come illustrato in figura, il meccanismo di stabilità associato al minimo fattore di sicurezza risulta pari a 1.8, la verifica a stabilità globale risulta pertanto soddisfatta.



**Figura 9-12 Verifica di stabilità globale – lato Genova**

#### 9.4.7 Verifiche SLE

La seguente figura illustra la deformata dei diaframmi di pali allo SLE, il massimo spostamento orizzontale risulta di circa 11 mm a fondo scavo; le deformazioni previste risultano compatibili con la funzionalità dell'opera.

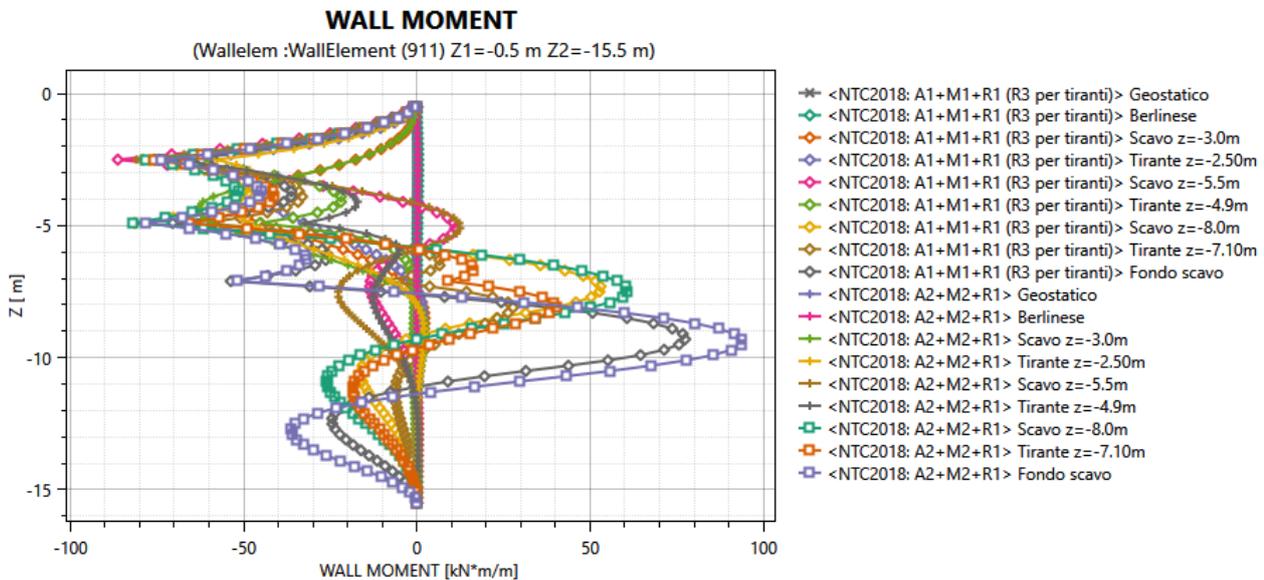


**Figura 9-13 Spostamenti orizzontali allo SLE previsti al raggiungimento della fase finale**

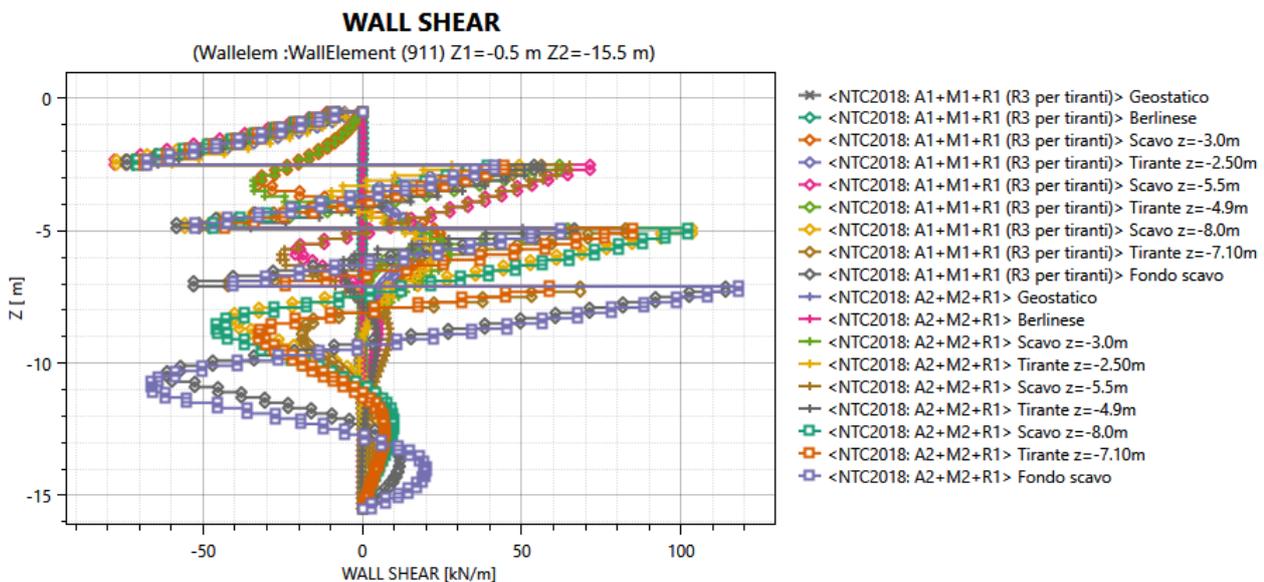
## 9.5 Risultati e verifiche del modello di calcolo – lato Ventimiglia

### 9.5.1 Risultati ottenuti dal modello di calcolo

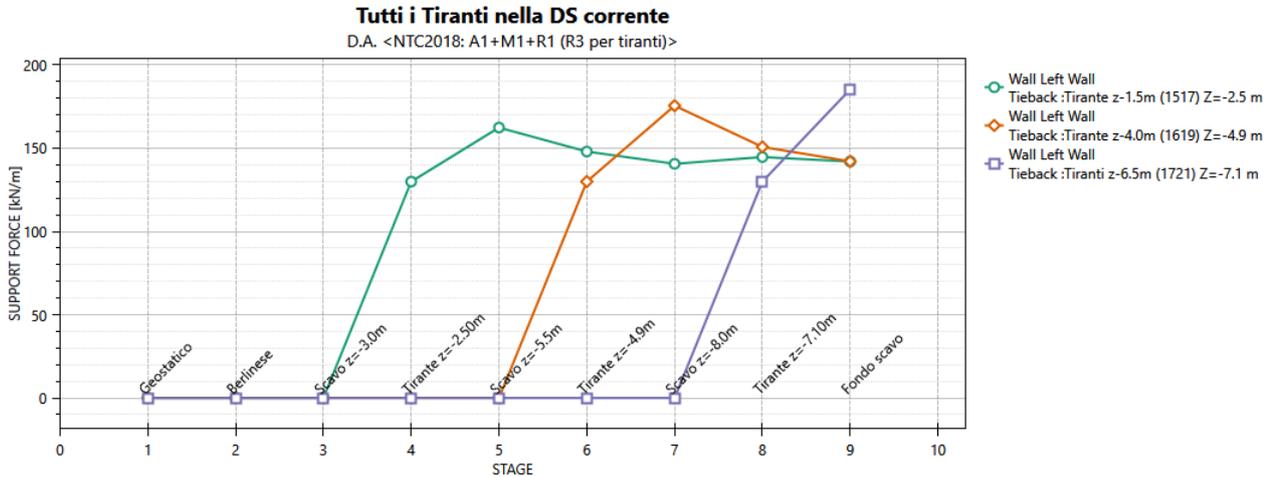
I seguenti diagrammi illustrano le sollecitazioni agenti negli elementi strutturali ottenute dal modello di calcolo.



**Figura 9-14 Berlinese di micropali – Momento flettente – Involuppo comb. A1+M1+R1 e A2+M2+R1**



**Figura 9-15 Berlinese di micropali – Taglio – Involuppo comb. A1+M1+R1 e A2+M2+R1**



**Figura 9-16 Tiranti di ancoraggio – Azione assiale – Comb. A1+M1+R3**

La seguente tabella riepiloga i risultati ottenuti in termini di sollecitazioni agenti sulle strutture in esame.

	Momento flettente [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Azione assiale [kN/m]
Berlinese	94	118	-
Tiranti di ancoraggio	-	-	161 (ordine superiore) 175 (ordine intermedio) 185 (ordine inferiore)

**Tabella 9-2 Riepilogo sollecitazione ottenute dal modello di calcolo**



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA - TRATTA FINALE L. ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	26 di 32

### 9.5.2 Verifiche strutturali dei tubolari metallici

La berlinese di micropali è costituita da tubolari in acciaio S275 di diametro Ø168.3 mm, spessore 10.0 mm e interasse pari a 0.3 m.

Come riportato nella seguente tabella, le verifiche strutturali risultano soddisfatte.

Materiale			Azioni di calcolo		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2
Acciaio	classe	S 275 -	Azione assiale	$n_s$ kN/m				
Coefficiente di sicurezza	$Y_{Mb}$	1,05 -	Taglio	$v_s$ kN/m		114,000		118,00
Tensione di snervamento	$f_{yk}$	275 MPa	Momento	$m_s$ kNm/m		77,000		94,00
Tensione di calcolo	$f_{yd}$	262 MPa	Combinazioni di carico		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2
Sezione (UNI EN 10219-2:2006)			Coefficiente di sicurezza	$\gamma$ -		1		1
Diametro esterno	D	168,3 mm	Interasse	i m		0,3		0,3
Spessore (s ≤ 40 mm)	s	10 mm	Azioni di progetto		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2
Diametro interno	d	148,3 mm	Azione assiale	$N_{sd}$ kN	0	0	0	0
Momento d'inerzia	I	1,56E-05 m <sup>4</sup>	Taglio	$V_{sd}$ kN	0,0	34	0	35,4
Area sezione trasversale	A	4,97E-03 m <sup>2</sup>	Momento	$M_{sd}$ kNm	0,0	23	0	28,2
Modulo resistente a flessione	$W_{pl}$	2,51E-04 m <sup>3</sup>	Effetto delle azioni combinate (N, V, M)		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2
Modulo resistente a taglio	$A_v = 2A/\pi$	3,17E-03 m <sup>2</sup>	$[(2 \cdot V_{sd}/V_{pl,Rd}) - 1]^2$	$\rho$ -	0,000	0,000	0,000	0,000
Area resistente a taglio	$A^*_v = A$	4,97E-03 m <sup>2</sup>	$N_{sd}/[A \cdot (1 - \rho \cdot a_v) \cdot f_{yd}]$	n -	0,000	0,000	0,000	0,000
$A^*_v/A$	$a_v$	1,000 -	Momento resistente ridotto (*)	$M_{pl,Rd,V,N}$ kN·m	66	66	66	66
Azioni resistenti elementari			Verifiche		A1-M1-R1	A1-M1-R1	A1-SISMA	A2-M2-R2
Azione assiale resistente	$N_{pl,Rd}$	1302 kN	Azione assiale	$N_{sd} \leq N_{pl,Rd}$	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.
Taglio resistente	$V_{pl,Rd}$	479 kN	Taglio	$V_{sd} \leq V_{pl,Rd}$	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.
Momento resistente	$M_{pl,Rd}$	66 kN·m	Presso(Tenso)-Flessione	$M_{sd} \leq M_{pl,Rd,V,N}$	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.

Figura 9-17 Verifica strutturale dei profili tubolari



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	27 di 32

### 9.5.3 Verifiche geotecniche e strutturali dei tiranti di ancoraggio

La verifica di tipo geotecnico allo SLU per sfilamento dell'ancoraggio è eseguita come indicato al §6.6.2 delle NTC. La verifica a sfilamento si esegue confrontando la massima azione di progetto  $P_d$  con la resistenza di progetto  $R_{ad}$ , determinata applicando alla resistenza caratteristica  $R_{ak}$  il fattore parziale  $\gamma_R$  pari a 1.1.

La forza limite allo sfilamento  $R_{a,c}$  è determinata con il metodo analitico di Bustamante-Doix:

$$R_{a,c} = \pi D_s L_s q_s$$

$D_s$ : diametro medio del bulbo valutato come segue:  $D_s = \alpha D_d$  dove  $\alpha$  è un coefficiente funzione del tipo di iniezione e di terreno (assunto pari a 1.55 per iniezioni di tipo IRS) e  $D_d$  è il diametro di perforazione (pari a 150mm).

$L_s$ : lunghezza di ancoraggio al terreno pari a 8 m;

$q_s$ : tensione di aderenza barra terreno pari a 0.2 MPa. Tale parametro è stato valutato considerando le curve proposte da Bustamante, Doix per terreni di tipo coesivo, considerando un valore di NSPT pari a 30.

La forza limite allo sfilamento caratteristica  $R_{ak}$ , considerando un numero di profili di indagine (coefficiente  $\xi_{a3}$  pari a 1.8) e la resistenza di progetto risultano:

$$R_{ak} = \frac{R_{a,c}}{\xi_{a3}}$$

$$R_{ad} = \frac{R_{ak}}{\gamma_{Ra.t}}$$

La verifica strutturale dei tiranti prevede che il valore di progetto dell'azione sollecitante  $P_d$  sia inferiore alla resistenza di calcolo dell'acciaio  $N_{y,d}$ :

$$P_d < N_{y,d} = \frac{N_{y,k}}{\gamma_s}$$

Dove  $N_{y,k}$  indica la resistenza a snervamento del tirante e  $\gamma_s$  indica il coefficiente parziale relativo all'acciaio.

Nella seguente tabelle sono riportate le verifiche geotecniche e strutturali eseguite, considerando il valore massimo dello sforzo assiale, calcolato moltiplicando il valore a metro lineare ottenuto dal modello numerico per un interasse pari a 2.1m. Come illustrato, le verifiche risultano soddisfatte.



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 11 00 002	A	28 di 32

VERIFICA TIRANTI - NTC 2018 6.6.2			
Approccio 2 - Combinazione A1+M1+R3			
<b>Caratteristiche tirante</b>			
Area trefolo	A (mm <sup>2</sup> )	139	
N. trefoli	n	3	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	417	
Acciaio	f <sub>y(t)k</sub> (MPa)	1670	
<b>Sollecitazioni</b>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	338.1	
<b>Resistenza geotecnica allo sfilamento</b>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	150	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.55	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>b</sub> (Mpa)	0.2	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	232.5	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>sm</sub> (kN)	1169	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	649	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.1	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
<b>Resistenza di progetto sfilamento</b>	<b>R<sub>sd</sub> (kN)</b>	<b>590</b>	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>sd</sub>	0.57	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<b>Resistenza strutturale tiranti</b>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
<b>Resistenza di progetto trazione</b>	<b>N<sub>rd</sub> (kN)</b>	<b>606</b>	
Verifica STR tiranti	P <sub>d</sub> / N <sub>rd</sub>	0.56	
VERIFICA STR SODDISFATTA			
<b>Verifica gerarchia resistenze tiranti a trefoli di acciaio armonico</b>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	649	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>sk</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

Figura 9-18 Verifiche geotecniche e strutturali tiranti di ancoraggio – Ordine superiore

VERIFICA TIRANTI - NTC 2018 6.6.2			
Approccio 2 - Combinazione A1+M1+R3			
<b>Caratteristiche tirante</b>			
Area trefolo	A (mm <sup>2</sup> )	139	
N. trefoli	n	3	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	417	
Acciaio	f <sub>y(t)k</sub> (MPa)	1670	
<b>Sollecitazioni</b>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	367.5	
<b>Resistenza geotecnica allo sfilamento</b>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	150	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.55	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>b</sub> (Mpa)	0.2	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	232.5	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>sm</sub> (kN)	1169	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	649	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.1	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
<b>Resistenza di progetto sfilamento</b>	<b>R<sub>sd</sub> (kN)</b>	<b>590</b>	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>sd</sub>	0.62	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<b>Resistenza strutturale tiranti</b>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
<b>Resistenza di progetto trazione</b>	<b>N<sub>rd</sub> (kN)</b>	<b>606</b>	
Verifica STR tiranti	P <sub>d</sub> / N <sub>rd</sub>	0.61	
VERIFICA STR SODDISFATTA			
<b>Verifica gerarchia resistenze tiranti a trefoli di acciaio armonico</b>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	649	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>sk</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

Figura 9-19 Verifiche geotecniche e strutturali tiranti di ancoraggio – Ordine intermedio

VERIFICA TIRANTI - NTC 2018 6.6.2			
Approccio 2 - Combinazione A1+M1+R3			
<u>Caratteristiche tirante</u>			
Area trefolo	A (mm <sup>2</sup> )	139	
N. trefoli	n	3	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	417	
Acciaio	f <sub>y(13k)</sub> (MPa)	1670	
<u>Sollecitazioni</u>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	388.5	
<u>Resistenza geotecnica allo sfilamento</u>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	150	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.5	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>s</sub> (Mpa)	0.2	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	225	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>adm</sub> (kN)	1131	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>ak</sub> (kN)	628	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.1	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
<b>Resistenza di progetto sfilamento</b>	<b>R<sub>ad</sub> (kN)</b>	<b>571</b>	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>ad</sub>	0.68	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<u>Resistenza strutturale tiranti</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
<b>Resistenza di progetto trazione</b>	<b>N<sub>rd</sub> (kN)</b>	<b>606</b>	
Verifica STR tiranti	P <sub>d</sub> / N <sub>rd</sub>	0.64	
VERIFICA STR SODDISFATTA			
<u>Verifica gerarchia resistenze tiranti a trefoli di acciaio armonico</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	696	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>ak</sub> (kN)	628	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>ak</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

**Figura 9-20 Verifiche geotecniche e strutturali tiranti di ancoraggio – Ordine inferiore**

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [2] <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b>					
	GALLERIA ARTIFICIALE PAREI - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA <b>IV01</b>	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 11 00 002	REV. A

#### 9.5.4 Verifica strutturale delle travi di ripartizione

Le travi di ripartizione dei tiranti sono costituite da una coppia di HEA 180 in acciaio S275. Le sollecitazioni sulle travi sono ottenute considerando uno schema statico di trave continua su più appoggi, rappresentati dai tiranti (interasse 2.10m). Il carico applicato, considerato uniforme, è dato dalla reazione dei tiranti per metro lineare di paratia.

Nella tabella seguente è riportata la verifica a flessione delle travi di ripartizione calcolata per il massimo valore della reazione dei tiranti ottenuto dal modello di calcolo.

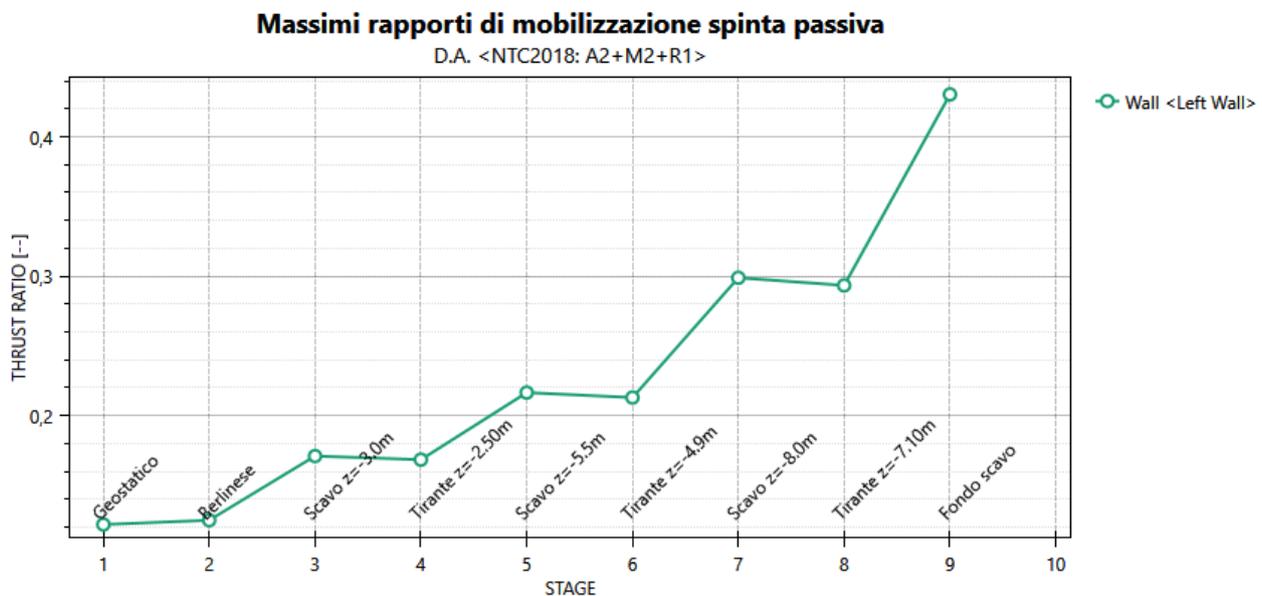
<b>Caratteristiche dei materiali</b>			
tipologia acciaio		<b>S275</b>	
sezione formata		<b>a caldo</b>	
tensione di snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$	<b>275</b>	[MPa]
modulo di elasticità dell'acciaio	E	<b>210000</b>	[MPa]
coefficiente parziale sulle resistenze	$\gamma_{M0}$	1.05	[-]
coefficiente parziale sulle resistenze	$f_{yk}/\gamma_{M0}$	262	[-]
<b>Geometria della trave</b>			
profilo		<b>HEB 180</b>	
modulo plastico a flessione	$W_{pl}$	482	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Verifica a flessione</b>			
forza assiale nell'ancoraggio del modello	$N_{model}$	<b>185</b>	[kN/m]
passo degli ancoraggi	s	<b>2.1</b>	[m]
sforzo Normale di progetto	$N_{Ed}$	388.5	[kN]
numero di profili accoppiati	n	<b>2</b>	-
momento massimo agente	$M_{Ed}$	102.0	[kN m]
modulo di resistenza plastico	$W_{pl}$	<b>482</b>	[cm <sup>3</sup> ]
momento resistente plastico	$M_{pl,Rd}$	252.5	[kN m]
momento resistente di calcolo	$M_{c,Rd}$	252.5	[kN m]
rapporto momento agente/resistente	$M_{Ed} \setminus M_{c,Rd}$	0.40	-
<b>Verifica OK</b>	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$		

Figura 9-21 Verifica strutturale trave di ripartizione

### 9.5.5 Verifica della resistenza del terreno a valle

Per la verifica di stabilità si valuta la percentuale di spinta passiva mobilitata in corrispondenza della massima altezza di scavo, per la combinazione A2+M2+R1 (GEO) statica. I coefficienti di sicurezza sono incorporati nei coefficienti parziali che si riferiscono all'approccio di calcolo prescelto: pertanto nei riguardi di una verifica allo Stato Limite Ultimo, la spinta sollecitante potrebbe, al limite, eguagliare la resistenza passiva di progetto.

Come illustrato nelle seguenti figure, in corrispondenza della massima altezza di scavo si mobilita il 43% di spinta passiva, la verifica di stabilità risulta quindi soddisfatta.

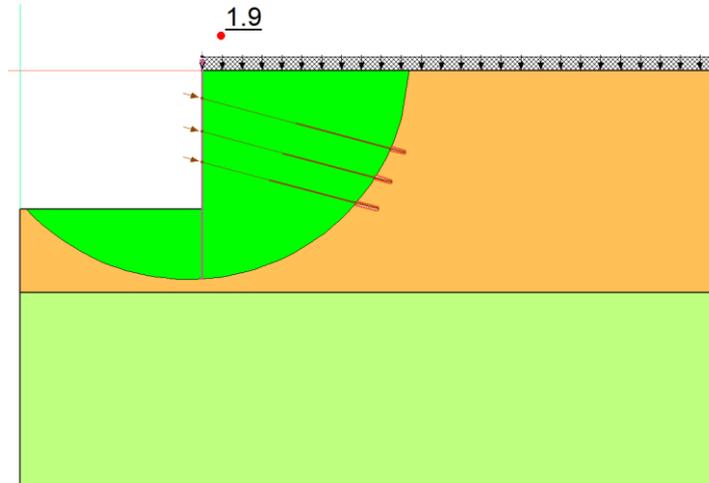


**Figura 9-22 Comb. A2+M2+R1 – Mobilitazione della spinta passiva a valle della berlinese di micropali**

### 9.5.6 Verifica di stabilità globale

Si riporta a seguire uno screenshot dei risultati relativo alla verifica di stabilità di svolta con il software SLOPE in corrispondenza dell'imbocco lato Ventimiglia.

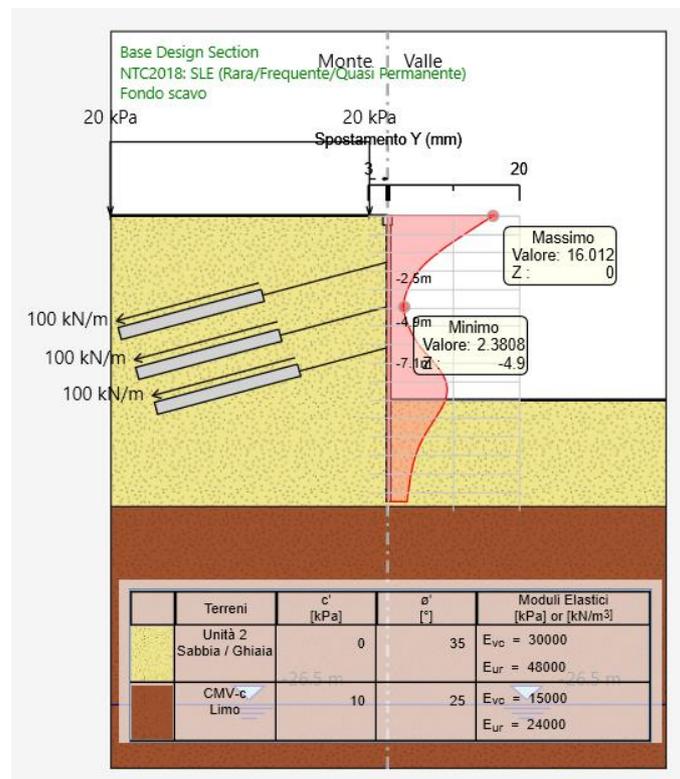
Come illustrato in figura, il meccanismo di stabilità associato al minimo fattore di sicurezza risulta pari a 1.9, la verifica a stabilità globale risulta pertanto soddisfatta.



**Figura 9-23 Verifica di stabilità globale – lato Ventimiglia**

### 9.5.7 Verifiche SLE

La seguente figura illustra la deformata dei diaframmi di pali allo SLE, il massimo spostamento orizzontale risulta di circa 9 mm a fondo scavo; le deformazioni previste risultano compatibili con la funzionalità dell'opera.



**Figura 9-24 Spostamenti orizzontali allo SLE previsti al raggiungimento della fase finale**