

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

## PROGETTO DEFINITIVO

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

### OPERE PRINCIPALI – GALLERIE ARTIFICIALI

Galleria artificiale dal km 83+178 al km 83+209  
Relazione di calcolo paratia adiacente imbocchi

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 7 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave <i>C. Soave</i>	Gennaio 2022	M. Severi <i>M. Severi</i>	Gennaio 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Gennaio 2022	A. Perego Gennaio 2022

File: IV0100D26CLGA1700003A.doc

n. Elab.: X



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	2 di 23

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	5
3.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	5
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	6
5.1	CALCESTRUZZO PALI .....	6
5.2	CALCESTRUZZO CORDOLO.....	6
5.3	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO .....	6
5.4	ACCIAIO ARMONICO PER TIRANTI DI ANCORAGGIO.....	6
5.5	MISCELA DI INIEZIONE (PER TIRANTI DI ANCORAGGIO).....	6
5.6	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA .....	6
6	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI .....	7
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	8
8	VERIFICHE DIAFRAMMA DI PALI .....	10
8.1	ANALISI DEI CARICHI.....	11
8.2	CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	11
8.3	FASI REALIZZATIVE .....	13
8.4	RISULTATI E VERIFICHE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	13
8.4.1	<i>Risultati ottenuti dal modello di calcolo.....</i>	<i>13</i>
8.4.2	<i>Verifiche strutturali dei pali .....</i>	<i>17</i>
8.4.3	<i>Verifiche geotecniche e strutturali dei tiranti di ancoraggio .....</i>	<i>18</i>



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 - RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	3 di 23

8.4.4	Verifica strutturale delle travi di ripartizione .....	20
8.4.5	Verifica della resistenza del terreno a valle .....	21
8.4.6	Verifica di stabilità globale della paratia .....	22
8.5	CALCOLO INCIDENZA PARATIA .....	23

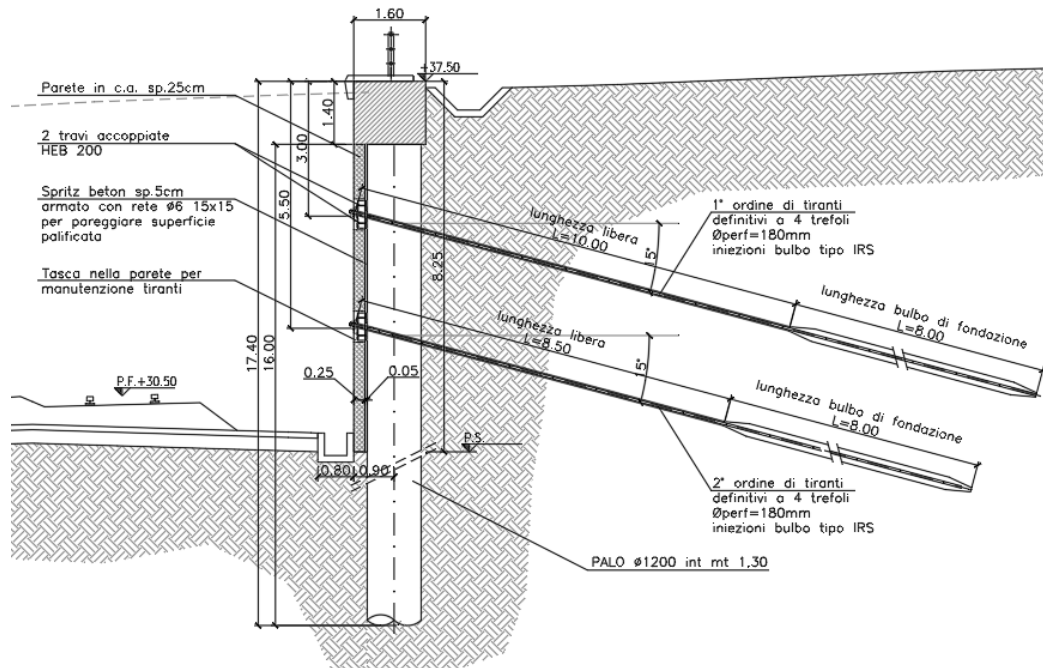
## 1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le verifiche di resistenza e stabilità della paratia tirantata posta in prosecuzione ai muri d'imbocco della galleria artificiale GA17 prevista dal progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora tra le progressive chilometriche 83+78 e 83+209.


## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è il dimensionamento geotecnico e strutturale della paratia tirantata presente tra le progressive 83+050.07 e 83+160.57.

Di seguito è illustrata una sezione tipologica della struttura in esame.



**Figura 2-1 Sezione tipologica della paratia di pali**

	<p>INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</b></p>												
<p>GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA ADIACENTE IMBOCCO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV01</td> <td>00</td> <td>D 26 CL</td> <td>GA 17 00 003</td> <td>A</td> <td>5 di 23</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	5 di 23
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	5 di 23								

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Documenti Referenziati

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

- [I] Planimetria generale dell'intervento (IV0100D26P8GA1700001A)
- [II] Pianta e sezione longitudinale (IV0100D26PAGA1700001A)
- [III] Sezioni trasversali galleria e imbocchi (IV0100D26WBGA1700001A)
- [IV] Particolari, dettagli e finiture (IV0100D26BZGA1700001A)

#### 3.2 Documenti Correlati

I documenti di calcolo correlati alla presente sono:

- [V] Relazione de calcolo (IV0I00D26CLGA1700001A)
- [VI] Relazione descrittiva (IV0I00D26ROGA1700001A)
- [VII] Relazione di calcolo imbocchi (IV0I00D26CLGA1700002A)

### 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli 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;
- Bustamante – Doix, Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	6 di 23

## 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1 Calcestruzzo pali

Calcestruzzo di classe C25/30

### 5.2 Calcestruzzo cordolo

Calcestruzzo di classe C28/35

### 5.3 Acciaio per 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	$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$ .

### 5.4 Acciaio armonico per tiranti di ancoraggio

Diametro trefoli	0.6'' ( $A_{tref}=139 \text{ mm}^2$ )
Tensione minima all'1% di def. sotto carico	$f_{p(1)k}=1670 \text{ MPa}$
Tensione di rottura a trazione	$f_{ptk}= 1860 \text{ MPa}$

### 5.5 Miscela di iniezione (per tiranti di ancoraggio)

Classe di resistenza	C20/25
Massimo rapporto a/c	0.4÷0.5

### 5.6 Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio tipo S355J2 (ex FE 510 D1)



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	7 di 23

## 6 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

La seguente tabella riepiloga i principali parametri utilizzati per la caratterizzazione del terreno in cui si trova la galleria:

Quota limiti strati (m s.l.m.)	Spessore strato (m)	Formazione
(+37.5)	-	(Piano campagna finale e testa paratia)
+34.5 ÷ +37.5	2.5	Unità 1
+22.5 ÷ +34.5	8.50	Unità 3
+16 ÷ +22.5	10.5	CMV-i
0 ÷ +6.8	30	CMV

**Tabella 6-1 Stratigrafia di progetto.**

I parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo sono:

	$\gamma$ [kN/mc]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E'$ [MPa]
Unità 1	19	-	0	25	15
Unità 3	20	100	10	23	15
CMV-i	20	-	0	35	35

**Tabella 6-2 Parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo.**

La falda risulta posizionata ad una quota tale da non interferire con le opere in esame.



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	8 di 23

## 7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le opere in progetto si trovano nel comune di Ceriale in un sito con le seguenti coordinate geografiche: Longitudine 8.179059, e Latitudine 44.069139.

Alle strutture di tipo definitivo, si attribuisce una vita nominale  $V_N$  pari a 75 anni e una classe d'uso III a cui corrisponde il coefficiente  $C_u$  pari a 1.5 (Tab. 2.4.I e Tab. 2.4.II, NTC 2018 – D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a  $V_R = V_N \cdot C_u = 112.5$  anni.

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica,  $P_{VR}$ , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo  $V_R$  dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma di progetto. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto,  $T_R$ , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T^*c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per le opere in analisi il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

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

Per tenere conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la seguente relazione:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

$S_s$  è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici  $F_0$  e  $a_g/g$  (Tabella 3.2.IV NTC 2018);

$S_T$  è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.V delle NTC 2018).

Sulla base delle evidenze riscontrata in sito si assegna una categoria di sottosuolo B.

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica sono riepilogate nella seguente tabella.



Vita Nominale dell'opera	V <sub>N</sub>	75	anni
Coefficiente D'uso	C <sub>u</sub>	1.5	
Periodo di riferimento	V <sub>R</sub>	112.5	anni
Probabilità di Superamento Evento	P <sub>VR</sub>	10	
Periodo di Ritorno	T <sub>R</sub>	1068	anni
Acc. orizzontale di picco al sito	ag	0.149	g
Amplificazione Spettrale max.	F <sub>0</sub>	2.445364	
<i>CATEGORIA SOTTOSUOLO</i>		B	
<i>CATEGORIA TOPOGRAFICA</i>		T1	
Coeff. di amp. stratigrafica	S <sub>s</sub>	1.20	
Coeff. di amp. Topografica	S <sub>T</sub>	1	

**Tabella 7-1 Parametri sismici considerati per la valutazione dell'azione sismica per l'opera in esame**

In base alle accelerazioni massima attese sul sito in esame si valutano, con le espressioni che seguono, i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche che seguono.

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

In accordo con quanto specificato al Par. 7.11 delle NTC2018, sono stati assunti un coefficiente  $\alpha$  pari a 1 e  $\beta$  pari a 0.48 (valutato considerando uno spostamento ammissibile us pari a 0.04 m).

Pertanto nei modelli di calcolo si considera  $k_h/g = 0.09$ .



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	10 di 23

## 8 VERIFICHE DIAFRAMMA DI PALI

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:  $k_0 = 1 - \tan \varphi$ .

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  $0.5 \varphi$  in caso statico, in caso sismico il rapporto  $\delta/\varphi$  sarà considerato nullo.

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+R3) per il calcolo delle sollecitazioni da considerare nelle verifiche strutturali.

La verifica di stabilità globale viene eseguita in accordo all'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2).



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	11 di 23

## 8.1 Analisi dei carichi

Per la galleria artificiale si individuano le seguenti azioni:

- **azioni permanenti strutturali:** peso del rilevato stradale a tergo della paratia;
- **azioni variabili:** carico variabile dovuto ai mezzi di cantiere, assunto pari a 10 kPa e l'azione variabile dovuta al traffico stradale, valutata secondo lo schema 1 riportato al Par. 5.1.3.3.5 delle NTC2018.
- **azione sismica:** l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo 7. I carichi considerati sono incremento di spinta del terreno sui diaframmi di pali e gli effetti inerziali della struttura della galleria nelle direzioni orizzontale e verticale.

## 8.2 Caratteristiche del modello di calcolo

L'opera è costituita da pali Ø1200 di lunghezza pari a 16 m posti ad interasse 1.3 m. Sono previsti due ordini di tiranti definitivi, le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

	I ordine di tiranti	II ordine di tiranti
Quota (rispetto a testa cordolo) [m]	-3	-5.5
Numero trefoli	4 (in acciaio armonico)	4 (in acciaio armonico)
Diametro perforazione [mm]	180	180
Lunghezza libera [m]	10	8.5
Lunghezza ancoraggio [m]	8	8
Interasse [m]	2.6	2.6
Pretiro [kN]	280	280
Tipo iniezione	IRS	IRS

**Tabella 8-1 Riepilogo caratteristiche tiranti**

Sono inoltre previste travi di ripartizione costituite da 2 profili accoppiati del tipo HEB200 in acciaio S355.

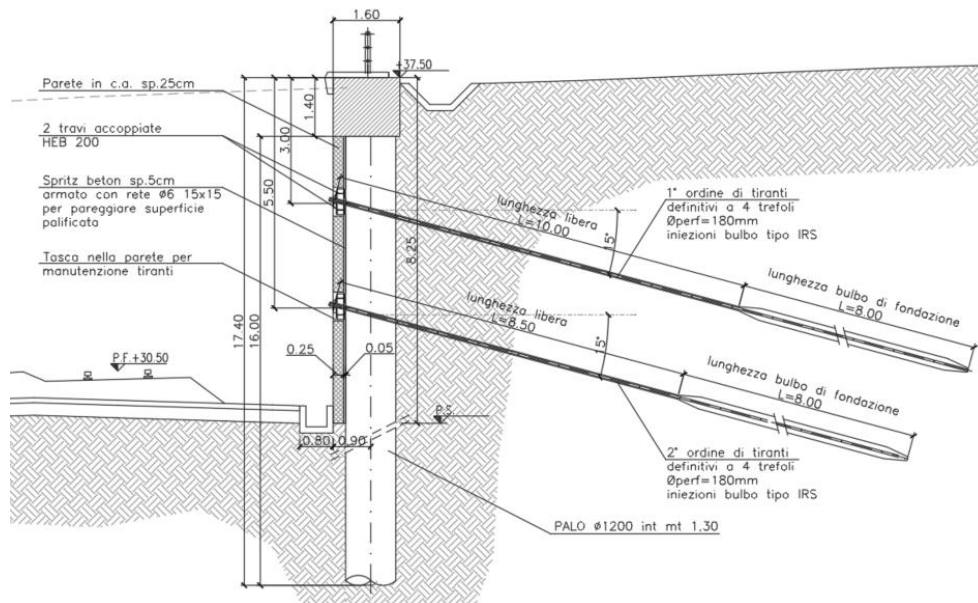
La stratigrafia di progetto è stata assunta con riferimento al profilo geologico-geotecnico in corrispondenza dell'opera in esame.

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

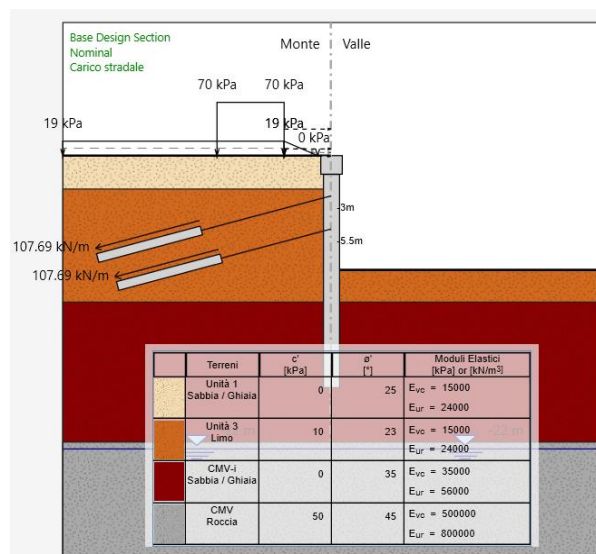
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	12 di 23

La massima altezza di scavo teorica prevista risulta pari a 8.25 m. Tale valore è stato opportunamente incrementato come indicato al Par. 6.5.2.2 delle NTC18, ossia pari al 10% della differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo (circa 0.3 m).

Le seguenti figure illustrano la sezione tipologica e il modello di calcolo implementato al raggiungimento della fase di fondo scavo.



**Figura 8-1 Sezione tipologica diaframma di pali**



**Figura 8-2 Modello di calcolo implementato al raggiungimento della fase di fondo scavo**

### 8.3 Fasi realizzative

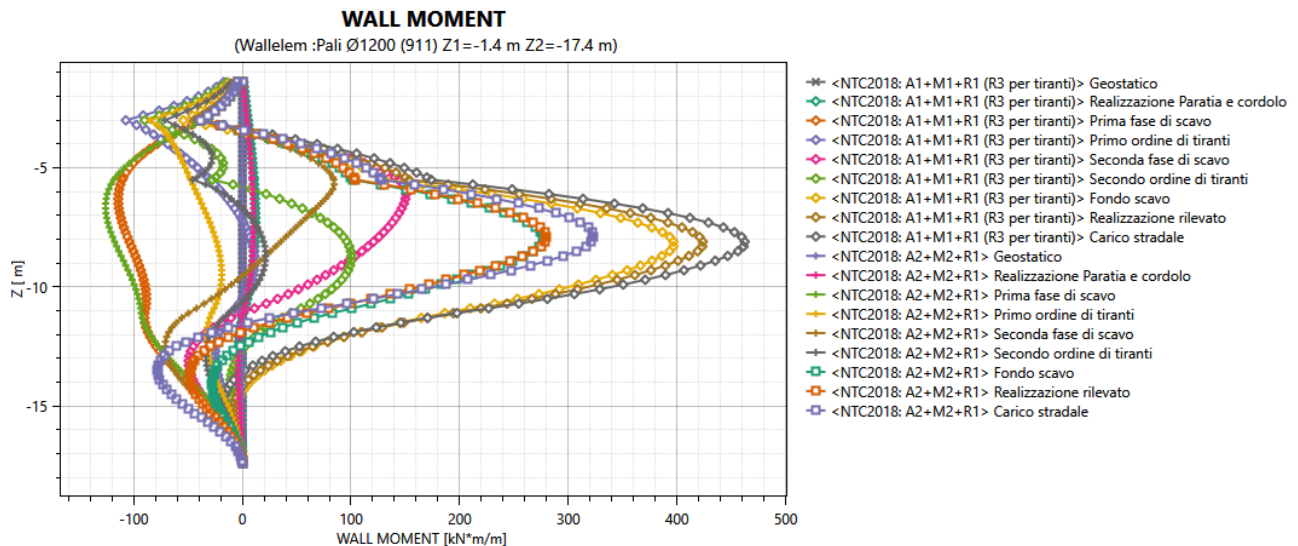
Le fasi esecutive considerate nel calcolo sono le seguenti:

1. Condizioni geostatiche;
2. Realizzazione della paratia e cordolo di sommità,
3. Prima fase di scavo (fino a -3.5m dall'estradosso del cordolo),
4. Realizzazione primo ordine di tiranti (-3.0m dall'estradosso del cordolo),
5. Seconda fase di scavo (fino a -6.00m dall'estradosso del cordolo),
6. Realizzazione secondo ordine di tiranti (-5.50m dall'estradosso del cordolo),
7. Completamento scavo (fino a -8.55m dall'estradosso del cordolo),
8. Realizzazione del rilevato a monte,
9. Applicazione del carico stradale a tergo della paratia.

### 8.4 Risultati e verifiche del modello di calcolo

#### 8.4.1 Risultati ottenuti dal modello di calcolo

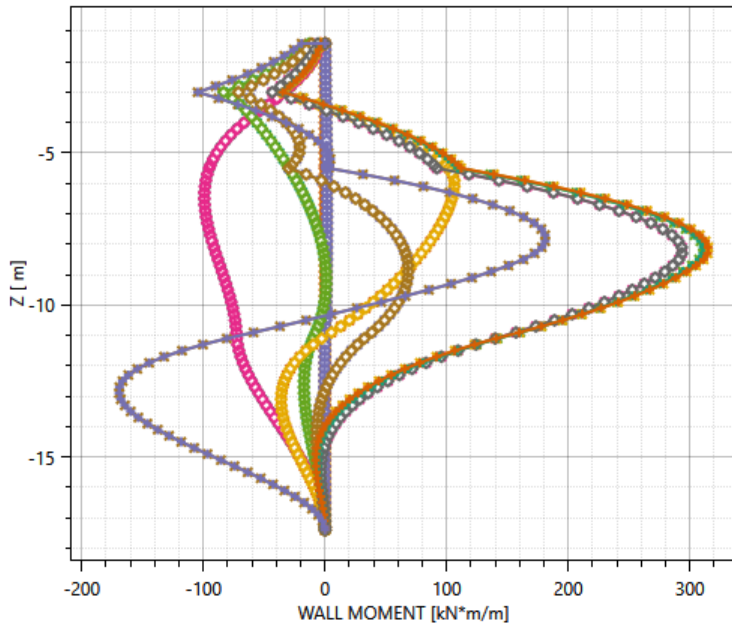
I seguenti diagrammi illustrano le sollecitazioni agenti negli elementi strutturali ottenute dal modello di calcolo.



**Figura 8-3 Diaframma di pali – Momento flettente – Inviluppo comb. A1+M1+R1 e A2+M2+R1 – Caso statico**

**WALL MOMENT**

(Wallelem :Pali Ø1200 (911) Z1=-1.4 m Z2=-17.4 m)

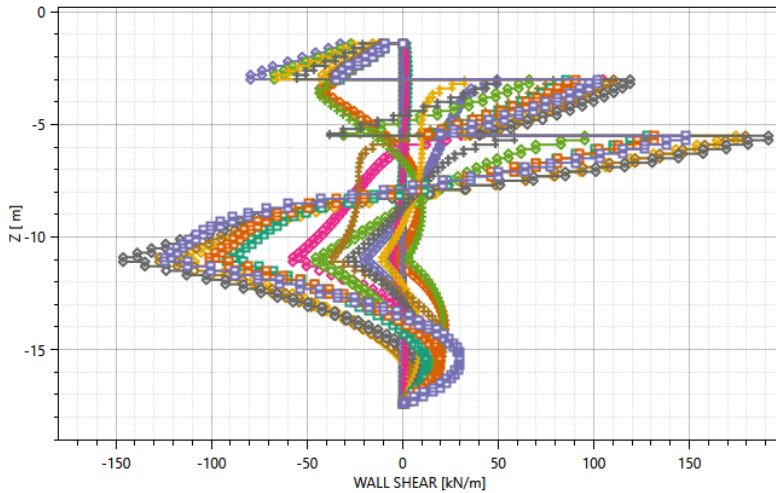


- <NTC2018: SISMICA STR> Geostatico
- <NTC2018: SISMICA STR> Realizzazione Paratia e cordolo
- <NTC2018: SISMICA STR> Prima fase di scavo
- <NTC2018: SISMICA STR> Primo ordine di tiranti
- <NTC2018: SISMICA STR> Secondo ordine di tiranti
- <NTC2018: SISMICA STR> Fondo scavo
- <NTC2018: SISMICA STR> Realizzazione rilevato
- <NTC2018: SISMICA STR> Carico stradale
- <NTC2018: SISMICA STR> Sisma
- <NTC2018: SISMICA GEO> Geostatico
- <NTC2018: SISMICA GEO> Realizzazione Paratia e cordolo
- <NTC2018: SISMICA GEO> Prima fase di scavo
- <NTC2018: SISMICA GEO> Primo ordine di tiranti
- <NTC2018: SISMICA GEO> Secondo fase di scavo
- <NTC2018: SISMICA GEO> Secondo ordine di tiranti
- <NTC2018: SISMICA GEO> Fondo scavo
- <NTC2018: SISMICA GEO> Realizzazione rilevato
- <NTC2018: SISMICA GEO> Carico stradale
- <NTC2018: SISMICA GEO> Sisma

**Figura 8-4 Diaframma di pali – Momento flettente – Involuppo combinazioni caso sismico**

**WALL SHEAR**

(Wallelem :Pali Ø1200 (911) Z1=-1.4 m Z2=-17.4 m)



- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Geostatico
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Realizzazione Paratia e cordolo
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Prima fase di scavo
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Primo ordine di tiranti
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Secondo ordine di tiranti
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Fondo scavo
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Realizzazione rilevato
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Carico stradale
- <NTC2018: A2+M2+R1> Geostatico
- <NTC2018: A2+M2+R1> Realizzazione Paratia e cordolo
- <NTC2018: A2+M2+R1> Prima fase di scavo
- <NTC2018: A2+M2+R1> Primo ordine di tiranti
- <NTC2018: A2+M2+R1> Secondo fase di scavo
- <NTC2018: A2+M2+R1> Secondo ordine di tiranti
- <NTC2018: A2+M2+R1> Fondo scavo
- <NTC2018: A2+M2+R1> Realizzazione rilevato
- <NTC2018: A2+M2+R1> Carico stradale

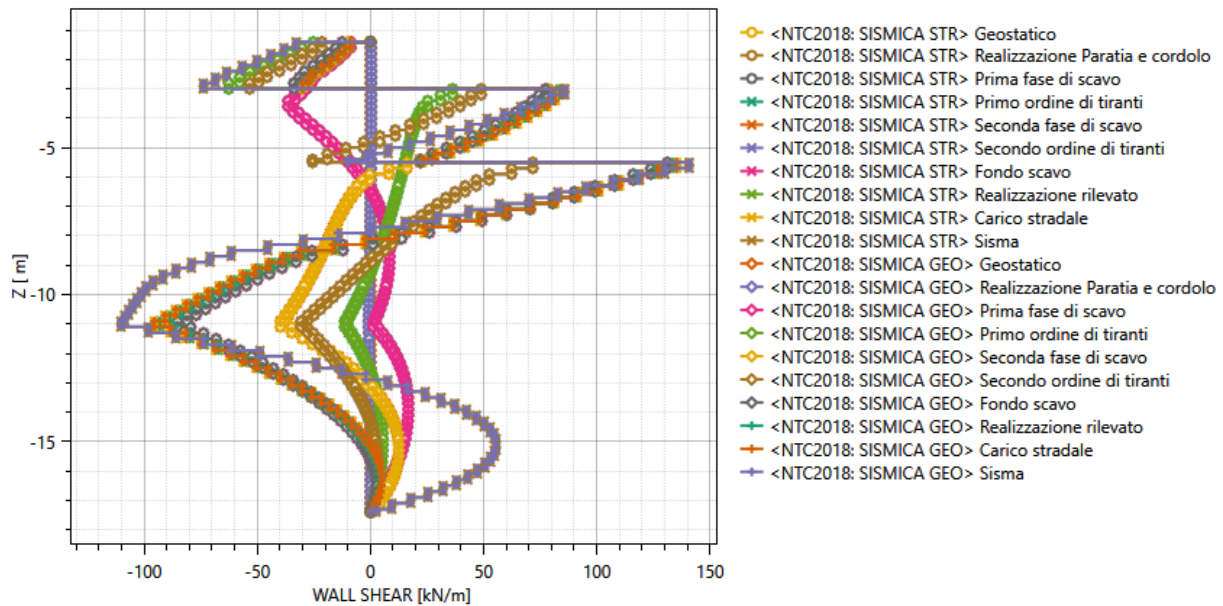
**Figura 8-5 Diaframma di pali – Taglio – Involuppo comb. A1+M1+R1 e A2+M2+R1 – Caso statico**

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	15 di 23

### WALL SHEAR

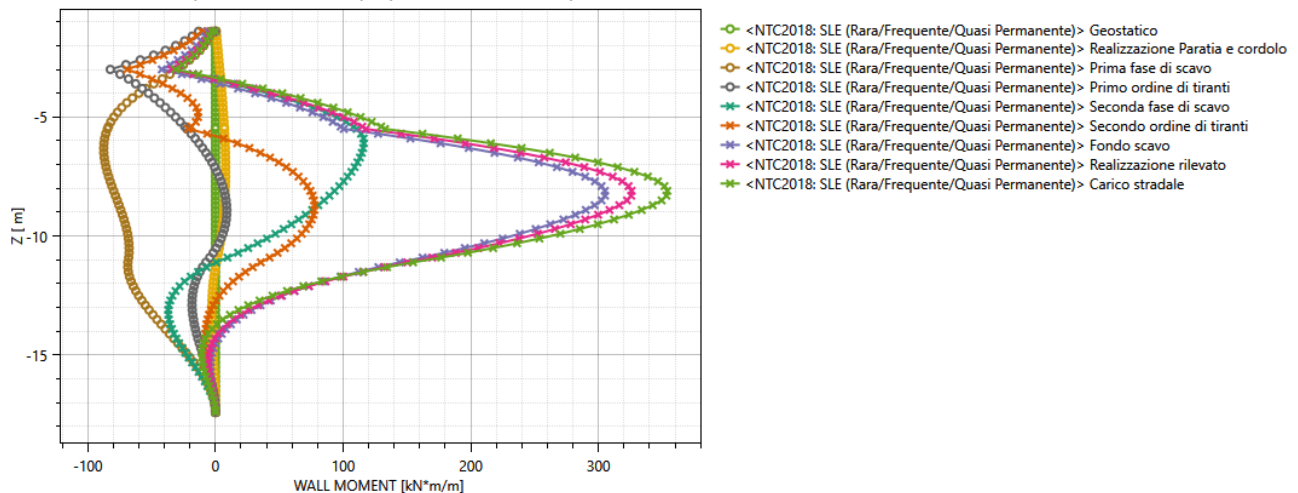
(Wallelem :Pali Ø1200 (911) Z1=-1.4 m Z2=-17.4 m)



**Figura 8-6 Diaframma di pali – Taglio – Involuppo combinazioni caso sismico**

### WALL MOMENT

(Wallelem :Pali Ø1200 (911) Z1=-1.4 m Z2=-17.4 m)



**Figura 8-7 Diaframma di pali – Momento flettente – SLE**

**Tutti i Tiranti nella DS corrente**

D.A. <NTC2018: SISMICA STR>

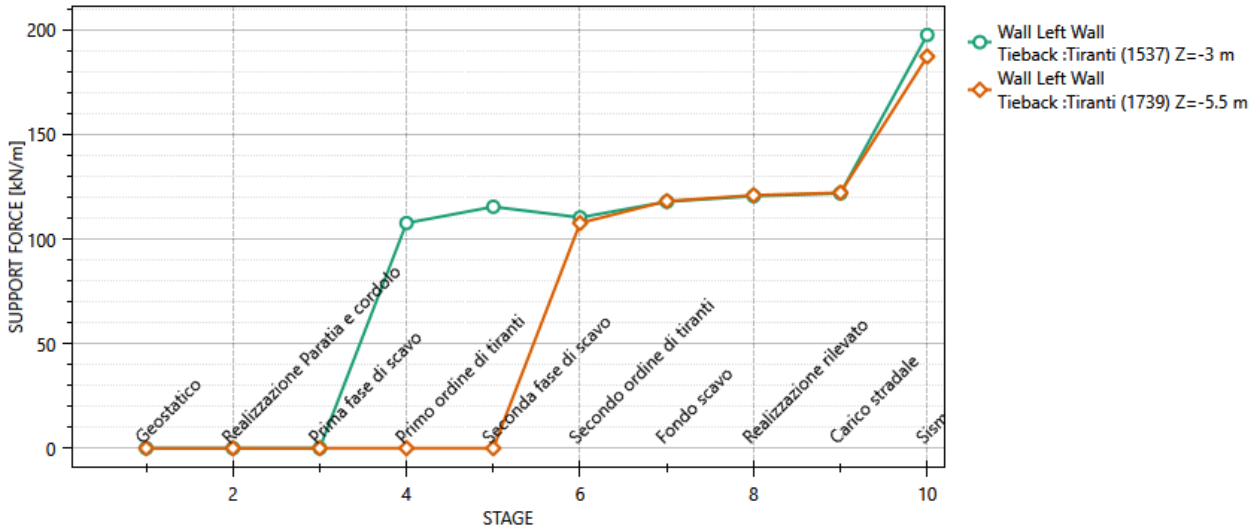


Figura 8-8 Sollecitazioni nei tiranti di ancoraggio - Comb. A1+M1+R3

**Tutti i Tiranti nella DS corrente**

D.A. <NTC2018: SISMICA STR>

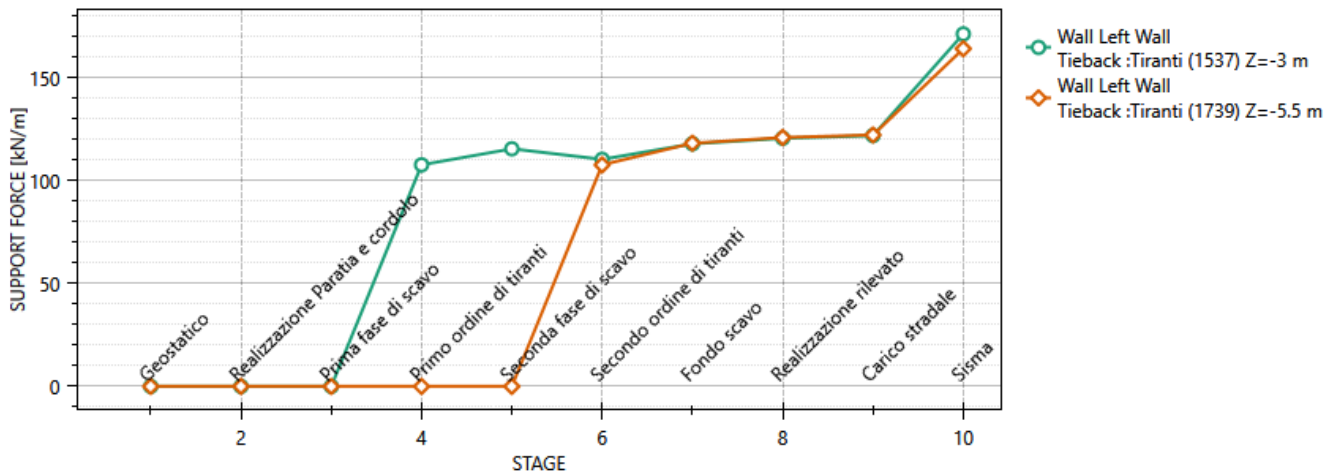


Figura 8-9 Sollecitazioni nei tiranti di ancoraggio - Comb. Sismica STR





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

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	17 di 23

Le seguenti tabelle riepilogano i risultati ottenuti in termini di sollecitazioni agenti sulle strutture in esame.

Caso statico			Caso sismico	
Inv. SLU	Inv. SLU	SLE	Inv. SLV	Inv. SLV
Momento flettente [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Momento flettente [kNm/m]	Momento flettente [kNm/m]	Taglio [kN/m]
462	191	354	315	-

**Tabella 8-2 Riepilogo sollecitazione ottenute dal modello di calcolo – Diaframma di pali**

	Azione assiale I ordine tiranti [kN/m]	Azione assiale II ordine tiranti [kN/m]
Caso statico	198	164
Caso sismico	170	164

**Tabella 8-3 Riepilogo sollecitazione ottenute dal modello di calcolo – Tiranti di ancoraggio**

#### 8.4.2 Verifiche strutturali dei pali

Il diaframma di pali è realizzato con pali in c.a. di diametro pari a 1.20 m e interasse 1.30 m; per tale motivo, le sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo (riferite ad una sezione di profondità unitaria) sono state opportunamente amplificate per tenere conto dell'interasse dei pali. I pali risultano armati longitudinalmente con 30Ø30, è inoltre presente una spirale Ø12/20. Come illustrato nelle seguenti tabelle, le verifiche strutturali risultano soddisfatte.

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL KM 83+209 - RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	18 di 23

geometria					sollecitazioni e risultati				verifica DM08	
sezione trasversale					SLE		SLU		Verifica a taglio	
D	c	d	passo	interferro	M <sub>Ek</sub>	458.9 [kNm]	M <sub>Ed</sub>	600.6 [kNm]		
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	N <sub>Ek</sub>	0.0 [kN]	N <sub>Ed</sub>	0.0 [kN]		
120	6.0	111.5	10.8	8.2	momento di cracking		V <sub>Ed</sub>	248.3 [kN]	contributo Asl	
armatura longitudinale					M <sub>cr</sub>	474.3 [kNm]	presso-flessione		scelta	
n <sub>barre</sub>	φ	r <sub>i</sub>	Asl		quota asse neutro		M <sub>Rd</sub>	2667.6 [kNm]	si	
[mm]	[cm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]		γ <sub>n</sub>	38.77 [cm]	FS	4.44	angolo θ	
30	26	51.50	159.28		tensioni e fessure		taglio		scelta	
					σ <sub>c,min</sub>	-3.3 [MPa]	V <sub>Rdc</sub>	438.4 [kN]	θ <sub>imposto</sub>	
					σ <sub>s,min</sub>	-38.3 [MPa]	non serve armatura a taglio		22 [°]	
					σ <sub>s,max</sub>	92.5 [MPa]			θ <sub>calcolato</sub>	
									21.8 [°]	
									θ <sub>sup</sub>	
									45 [°]	
armatura a taglio					k <sub>2</sub>	0.5	V <sub>Rds</sub>	797.9 [kN]	Incidenza	
Tipo	φ	p	A <sub>sw</sub>		ε <sub>sm-ε<sub>cm</sub></sub>	- [%]	V <sub>Rdmax</sub>	2272.1 [kN]	140 Kg/mc	
[mm]	[cm]	[cm <sup>2</sup> ]			S <sub>r,max</sub>	- [cm]	θ	22.0 [°]	Armatura min	
spirale	12	20	2.26		W <sub>k</sub>	- [mm]	sezione	duttile	CD 'A'	
							ai	78.7 [cm]		

materiali		legenda	
calcestruzzo		acciaio	
R <sub>ck</sub>	30 [MPa]	f <sub>yk</sub>	450 [MPa]
f <sub>ck</sub>	24.9 [MPa]	γ <sub>s</sub>	1.15
γ <sub>c</sub>	1.5	f <sub>yd</sub>	391.3 [MPa]
α <sub>cc</sub>	0.85	E <sub>s</sub>	200000 [MPa]
f <sub>cd</sub>	14.1 [MPa]	ε <sub>uk</sub>	75 [%]
v	0.5	valori limite	
ε <sub>c2</sub>	2.0 [%]	k <sub>1</sub>	0.8
ε <sub>cu2</sub>	3.5 [%]	k <sub>2</sub>	0.5
α <sub>e</sub>	15.0	k <sub>3</sub>	3.4
k <sub>t</sub>	0.6	k <sub>4</sub>	0.425
k <sub>1</sub>	0.8	σ	>0 se di trazione
k <sub>2</sub>	0.5		
k <sub>3</sub>	3.4		
k <sub>4</sub>	0.425		
σ	>0 se di trazione		

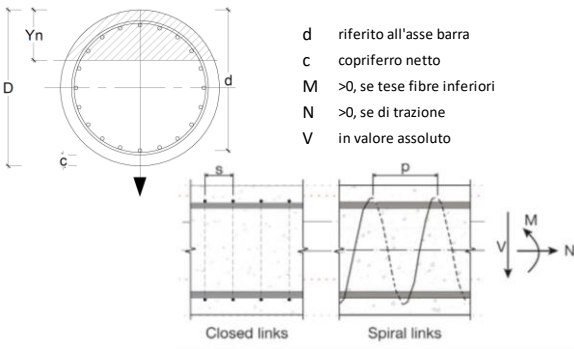
  


Figura 8-10 Verifica strutturale pali

### 8.4.3 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<sub>d</sub> con la resistenza di progetto R<sub>ad</sub>, determinata applicando alla resistenza caratteristica R<sub>ak</sub> il fattore parziale γ<sub>R</sub> pari a 1.2.

La forza limite allo sfilamento R<sub>a,c</sub> è determinata con il metodo analitico di Bustamante-Doix:

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

D<sub>s</sub>: diametro medio del bulbo valutato come segue:  $D_s = \alpha D_d$  dove α è un coefficiente funzione del tipo di iniezione e di terreno (assunto pari a 1.5 per iniezioni di tipo IRS) e D<sub>d</sub> è il diametro di perforazione (pari a 180mm).

L<sub>s</sub>: lunghezza di ancoraggio al terreno pari a 8 m (per entrambi gli ordini);



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	19 di 23

$q_s$ : tensione di aderenza barra terreno pari a 0.18 MPa. Tale coefficiente è stato valutato considerando gli abachi forniti da Bustamante, Doix per sabbie e ghiaie considerando un valore medio 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 2.6 m. Come illustrato, le verifiche risultano soddisfatte.

GA17 GALLERIA ARTIFICIALE DA KM 83+178 AL  
KM 83+209 – RELAZIONE DI CALCOLO PARATIA  
ADIACENTE IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 17 00 003	A	20 di 23

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	4	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	556	
Acciaio	f <sub>y(1)k</sub> (MPa)	1670	
<u>Sollecitazioni</u>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	429	
<u>Resistenza geotecnica allo sfilamento</u>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	180	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.5	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>c</sub> (Mpa)	0.18	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	270	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>sm</sub> (kN)	1221	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	679	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.2	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
Resistenza di progetto sfilamento	R <sub>ad</sub> (kN)	565	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>ad</sub>	0.76	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<u>Resistenza strutturale tiranti</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	929	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
Resistenza di progetto trazione	N <sub>rd</sub> (kN)	807	
Verifica STR tiranti	P <sub>d</sub> / N <sub>rd</sub>	0.53	
VERIFICA STR SODDISFATTA			
<u>Verifica gerarchia resistenze tiranti a trefoli di acciaio armonico</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	929	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	679	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>sk</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

Figura 8-11 Verifica GEO e STR 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	4	
Area totale trefoli	A <sub>tot</sub> (mm <sup>2</sup> )	556	
Acciaio	f <sub>y(1)k</sub> (MPa)	1670	
<u>Sollecitazioni</u>			
Azione assiale di progetto SLU	P <sub>d</sub> (kN)	514.8	
<u>Resistenza geotecnica allo sfilamento</u>			
Lunghezza bulbo	L <sub>s</sub> (m)	8	
Diametro perforazione	D <sub>d</sub> (mm)	180	
Tipo iniezione bulbo (IGU-IRS)		IRS	
Coefficiente diametro	α	1.5	Bustamante-Doix
Aderenza	q <sub>c</sub> (Mpa)	0.18	
Diametro medio bulbo	D <sub>s</sub> (mm)	270	α D <sub>d</sub>
Resistenza sfilamento (valore medio)	R <sub>sm</sub> (kN)	1221	
Fattore correlazione	ξ	1.8	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	679	
Coefficiente parziale R3	γ <sub>r</sub>	1.2	1.1 temporanei - 1.2 permanenti
Resistenza di progetto sfilamento	R <sub>ad</sub> (kN)	565	
Verifica GEO tiranti	P <sub>d</sub> / R <sub>ad</sub>	0.91	
VERIFICA GEO SODDISFATTA			
<u>Resistenza strutturale tiranti</u>			
Resistenza caratteristica a trazione	N <sub>yk</sub> (kN)	929	
Coefficiente parziale acciaio	γ <sub>m</sub>	1.15	
Resistenza di progetto trazione	N <sub>rd</sub> (kN)	807	
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)	929	
Resistenza caratteristica sfilamento	R <sub>sk</sub> (kN)	679	
Verifica gerarchia resistenza:	N <sub>yk</sub> < R <sub>sk</sub>		
VERIFICA GERARCHIA SODDISFATTA			

Figura 8-12 Verifica GEO e STR tiranti di ancoraggio – ordine inferiore

#### 8.4.4 Verifica strutturale delle travi di ripartizione

Le travi di ripartizione dei tiranti sono costituite da una coppia di HEB200 in acciaio S355. Le sollecitazioni sulle travi sono ottenute considerando uno schema statico di trave continua su più appoggi, rappresentati dai tiranti (interasse 2.60m). 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>S355</b>	
sezione formata		<b>a caldo</b>	
tensione di snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$	<b>355</b>	[MPa]
modulo di elasticità dell'acciaio	E	<b>210000</b>	[MPa]
coefficiente parziale sulle resistenze	$\gamma_{M0}$	<b>1.05</b>	[-]
coefficiente parziale sulle resistenze	$f_{yk}/\gamma_{M0}$	<b>338</b>	[-]
<b>Geometria della trave</b>			
profilo		<b>HEB 200</b>	
modulo plastico a flessione	$W_{pl}$	<b>642</b>	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Verifica a flessione</b>			
forza assiale nell'ancoraggio del modello	$N_{model}$	<b>198</b>	[kN/m]
passo degli ancoraggi	s	<b>2.6</b>	[m]
sforzo Normale di progetto	$N_{Ed}$	<b>514.8</b>	[kN]
numero di profili accoppiati	n	<b>2</b>	-
momento massimo agente	$M_{Ed}$	<b>167.3</b>	[kN m]
modulo di resistenza plastico	$W_{pl}$	<b>642</b>	[cm <sup>3</sup> ]
momento resistente plastico	$M_{pl,Rd}$	<b>434.1</b>	[kN m]
momento resistente di calcolo	$M_{c,Rd}$	<b>434.1</b>	[kN m]
rapporto momento agente/resistente	$M_{Ed} \setminus M_{c,Rd}$	<b>0.39</b>	-
<b>Verifica OK</b>	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$		

**Figura 8-13 Verifica strutturale trave di ripartizione**

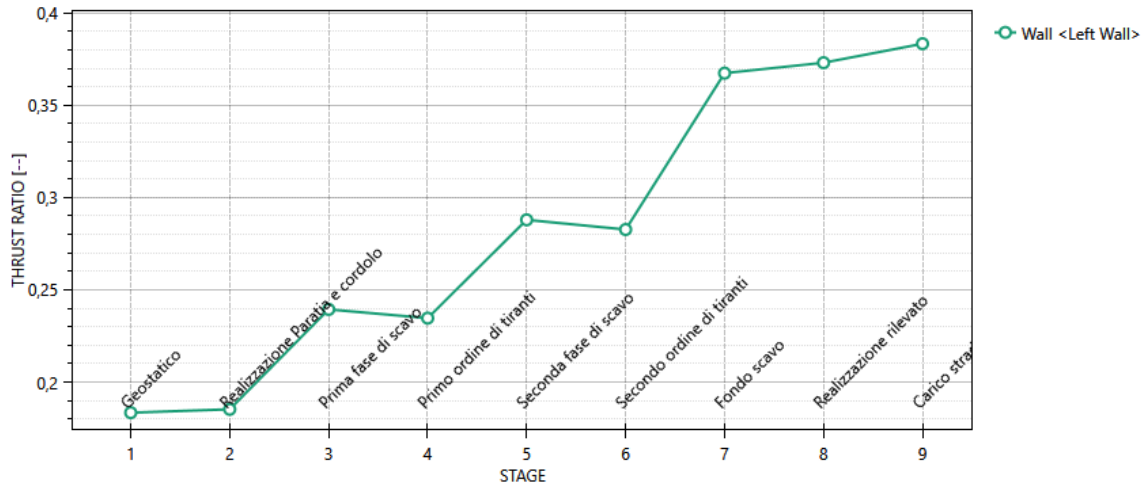
#### 8.4.5 Verifica della resistenza del terreno a valle

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 e sismica. 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 38% di spinta passiva in caso statico e il 46% in caso sismico, la verifica di stabilità risulta quindi soddisfatta.

**Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva**

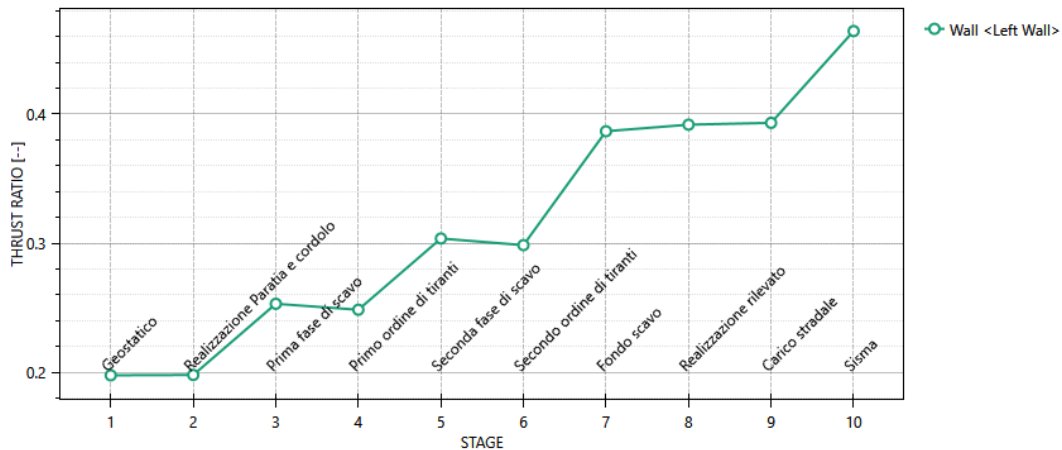
D.A. <NTC2018: A2+M2+R1>



**Figura 8-14 Mobilitazione spinta passiva – caso statico**

**Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva**

D.A. <NTC2018: SISMICA GEO>

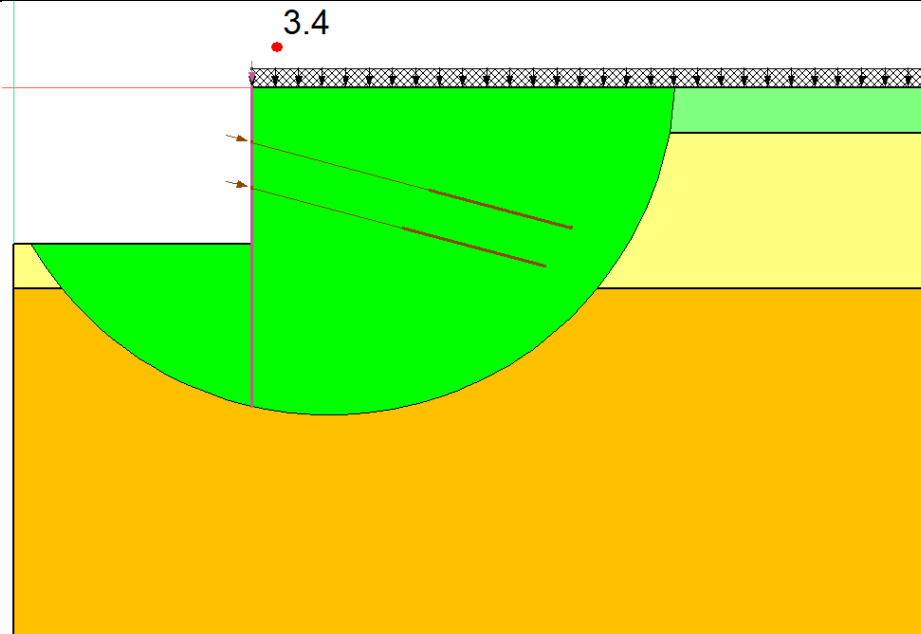


**Figura 8-15 Mobilitazione spinta passiva – caso sismico**

**8.4.6 Verifica di stabilità globale della paratia**

Si riporta a seguire uno screenshot dei risultati relativo alla verifica di stabilità di svolta con il software SLOPE in corrispondenza della paratia di pali in prossimità della GA17.

Come illustrato in figura, il meccanismo di stabilità associato al minimo fattore di sicurezza risulta pari a 3.4, la verifica a stabilità globale risulta pertanto soddisfatta.



**Figura 8-16 Verifica di stabilità globale**

## 8.5 CALCOLO INCIDENZA PARATIA

La seguente tabella riepiloga le incidenze di acciaio previste per gli elementi strutturali oggetto della presente relazione.

	Incidenza [kg/m <sup>3</sup> ]
Paratia di pali	140

**Tabella 8-4 Incidenza prevista per il diaframma di pali**