

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

Gallerie Artificiali

GA51 - Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS

Relazione di calcolo opere provvisionali

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 CL GA5100 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Gen-2020	M.Arcangeli	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	F.Arduini Apr-2020
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Apr-2020	M.Arcangeli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Fabrizio Venturi Dott. Ing. Roberto Di Biase Dott. Ing. Roberto Di Biase Dott. Ing. Roberto Di Biase

File: RS3U.4.0.D.29.CL.GA.51.0.0.002.B

n. Elab.: 29_437

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR– CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) Gallerie Artificiali												
GA19 - Galleria Artificiale da pk 46+541 a pk 46+646: Relazione di calcolo opere provvisionali	<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>RS3T</td> <td>30</td> <td>D 78 CL</td> <td>GA 08 00 002</td> <td>B</td> <td>1 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30	D 78 CL	GA 08 00 002	B	1 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30	D 78 CL	GA 08 00 002	B	1 di 34								

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
5	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
6	FASE CONOSCITIVA.....	7
6.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
7.1	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	8
7.1.1	<i>Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi</i>	8
7.1.2	<i>Il regime idraulico</i>	9
7.2	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	9
8	SOLUZIONI PROGETTUALI.....	11
8.1	GALLERIA ARTIFICIALE GA51.....	11
8.1.1	<i>Opere di sostegno.....</i>	11
9	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	12
10	CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE.....	13
10.1	OPERE DI SOSTEGNO	13
10.1.1	<i>Azioni.....</i>	13
10.1.2	<i>Approcci progettuali e metodi di verifica</i>	13
10.1.3	<i>Tiranti di ancoraggio.....</i>	15
10.1.4	<i>Stabilità globale.....</i>	16
11	VERIFICA DELLE OPERE.....	17
11.1	OPERE DI SOSTEGNO	17

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA												
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	<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>RS3U</td> <td>04</td> <td>D 29 CL</td> <td>GA 51 00002</td> <td>B</td> <td>2 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	2 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	2 di 34								

11.1.1 Paratia frontale H=26m – 3 tiranti.....	17
12 INCIDENZA DEL PALO.....	34

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B	FOGLIO 3 di 34

1 PREMESSA

Il presente documento riguarda il dimensionamento delle opere di sostegno provvisionali atte alle costruzioni della Galleria Artificiale GA51, inquadrata all'interno dei lavori di costruzione del nuovo collegamento ferroviario Palermo-Catania, specificamente del Lotto 4 di tale progetto dalla progr. 1+400 km alla progr. 1+600 km circa.

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si illustrano le soluzioni progettuali relative alle opere di sostegno provvisionali della Galleria Artificiale GA51, facente parte dei lavori di costruzione del nuovo collegamento ferroviario Palermo-Catania (Lotto 4).

Le opere di sostegno in esame consistono in paratie tirantate di pali trivellati con diametro nominale di 1000 mm ed interasse 1.2 m.

In accordo con la Normativa vigente, al fine di valutare i parametri di azione sismica dell'area, si utilizzano le seguenti coordinate lat.= 37.536088 e long. = 14.068066

Si riporta inoltre di seguito in figura la posizione geografica dell'opera in esame.

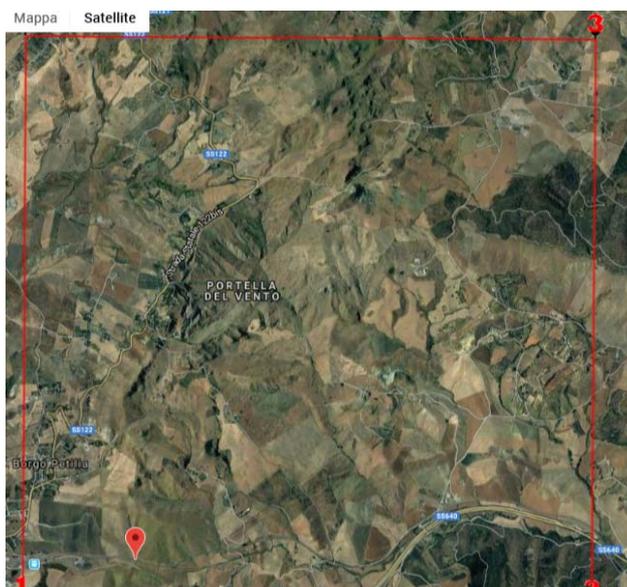


Figura 1. Posizione Geografica della GA51

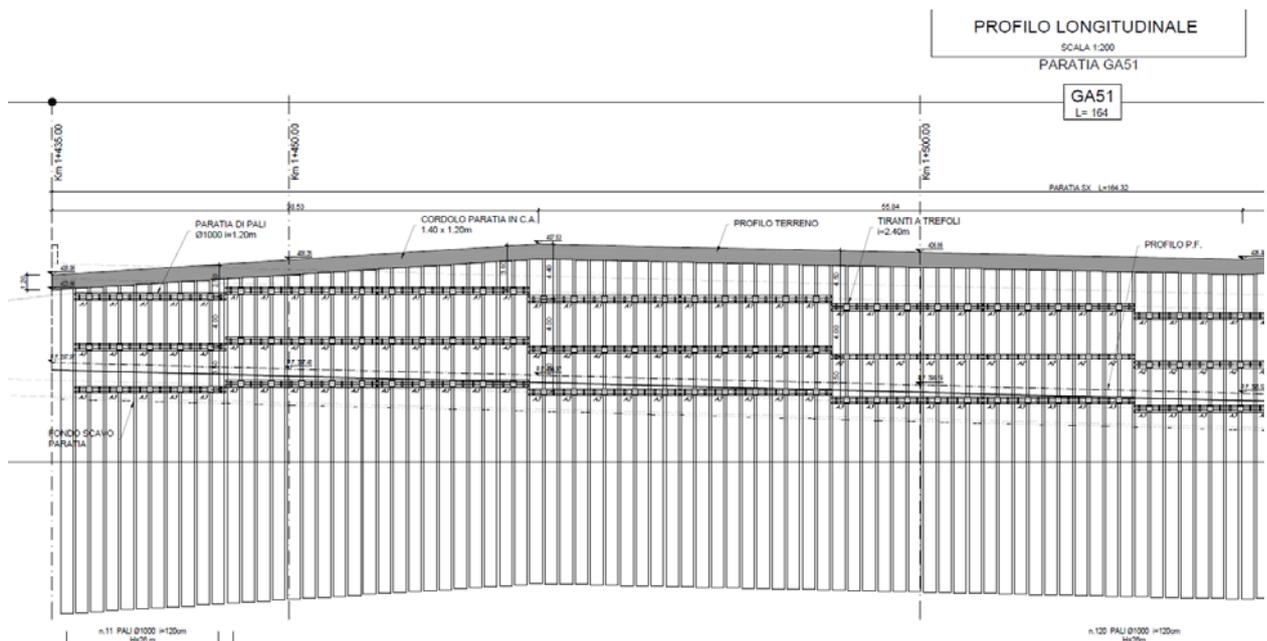
 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</p>												
<p>GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali</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>RS3U</td> <td>04</td> <td>D 29 CL</td> <td>GA 51 00002</td> <td>B</td> <td>4 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	4 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	4 di 34								

Nel seguito si mostrano le principali verifiche strutturali e geotecniche delle opere di sostegno secondo normativa NTC2018.

Di seguito si riporta la vista planimetrica, il profilo longitudinale e la sezione.



Figura 2 – Inquadramento della GA51 all'interno del lotto di progettazione.



GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599
Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	5 di 34

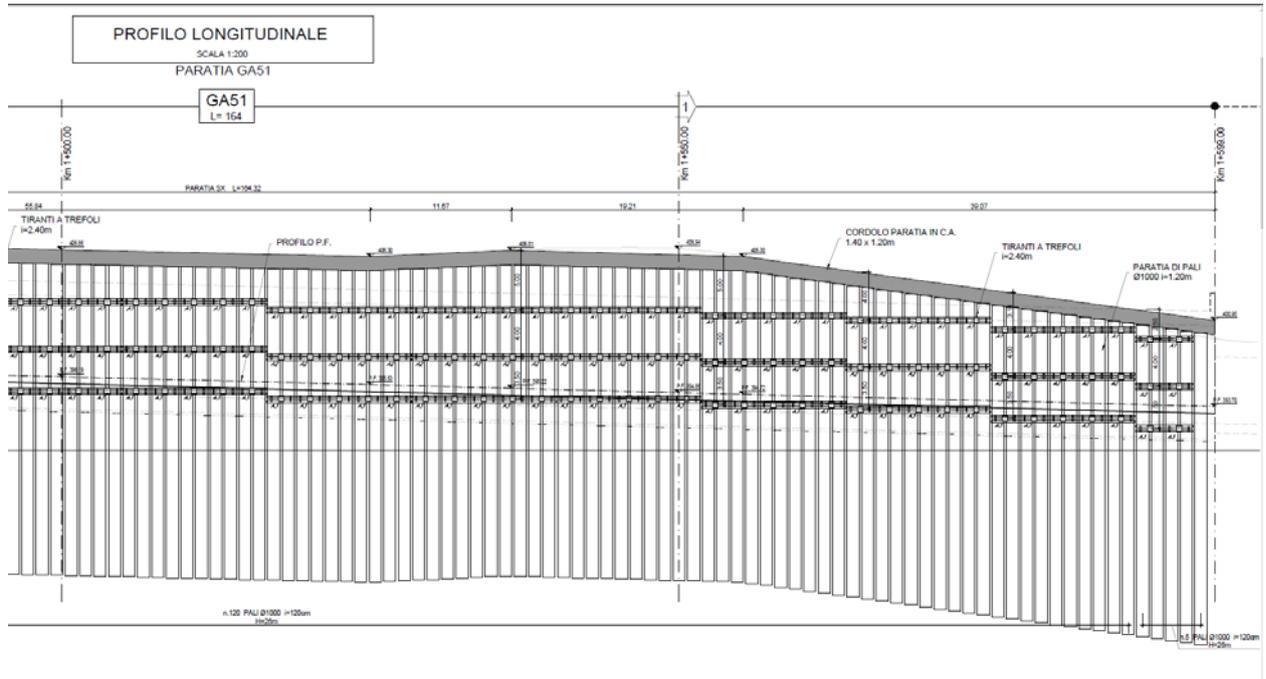


Figura 3 – Profilo longitudinale della paratia di pali provvisionali della GA51.

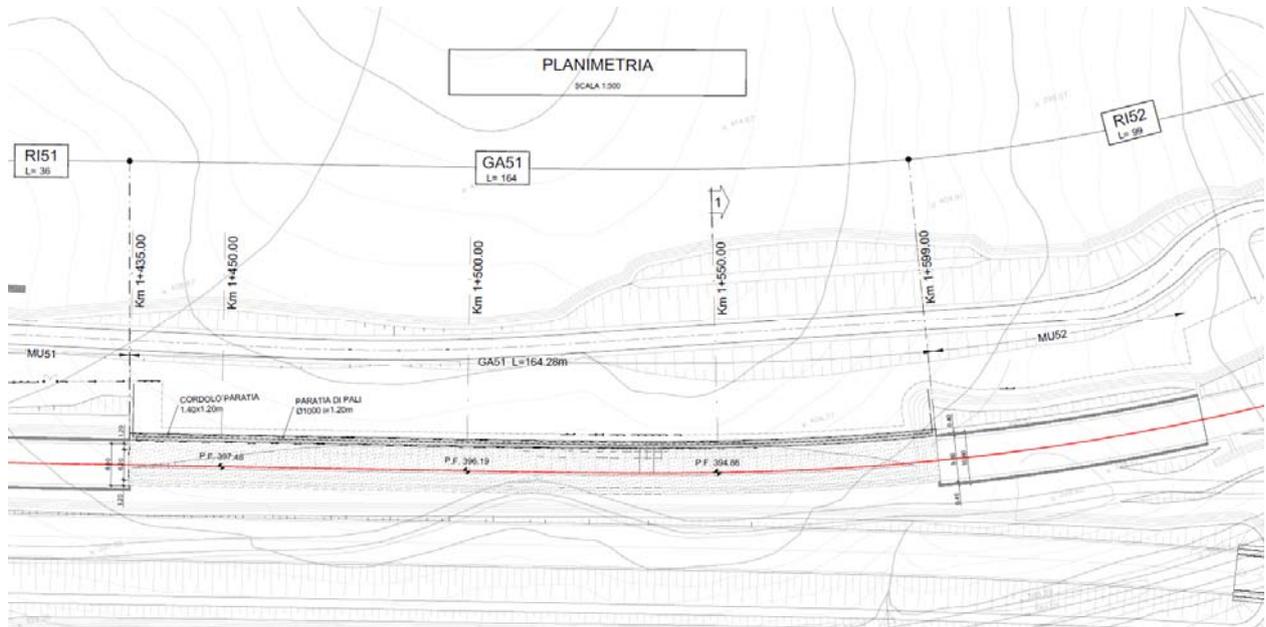


Figura 4 – Sezione trasversale della GA51

Nel seguito si mostrano le principali verifiche strutturali e geotecniche delle opere di sostegno secondo normativa NTC2018.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA												
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	<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>RS3U</td> <td>04</td> <td>D 29 CL</td> <td>GA 51 00002</td> <td>B</td> <td>6 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	6 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	6 di 34								

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14/01/2018”.
- Rif. [3] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 C “Manuale di progettazione delle Opere Civili” del XXX;

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si rimanda ai seguenti elaborati grafici:

- RS3U.4.0.D.29.P9.GA.51.0.0.001. Pianta, prospetto e sezioni - Opere di sostegno
- RS3T.3.0.D.78.TT.OC.01.0.0.001 Tabella materiali Opere Civili
- RS3T.3.0.D.78.TT.OC.01.0.0.002 Tabella incidenze armature Opere Civili

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B	FOGLIO 7 di 34

5 DESCRIZIONE DELL'OPERA

In generale la realizzazione della galleria è prevista secondo le seguenti fasi costruttive:

1. Preparazione del piano di lavoro
2. Perforazione pali dal piano di lavoro
3. scavo successivo a seguito della realizzazione differenti ordini di tiranti
4. Realizzazione scatolare
5. Ritombamento

6 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo del mezzo interessato dall'opera. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica con specifico riferimento al volume significativo interessato dalle opere.

6.1 Inquadramento geologico

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La Galleria Artificiale (GA51) si estende per una lunghezza di circa 160m, a partire dal piano campagna si incontra la litologie del TRV (Formazione di Terravecchia- membro pelitico)

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

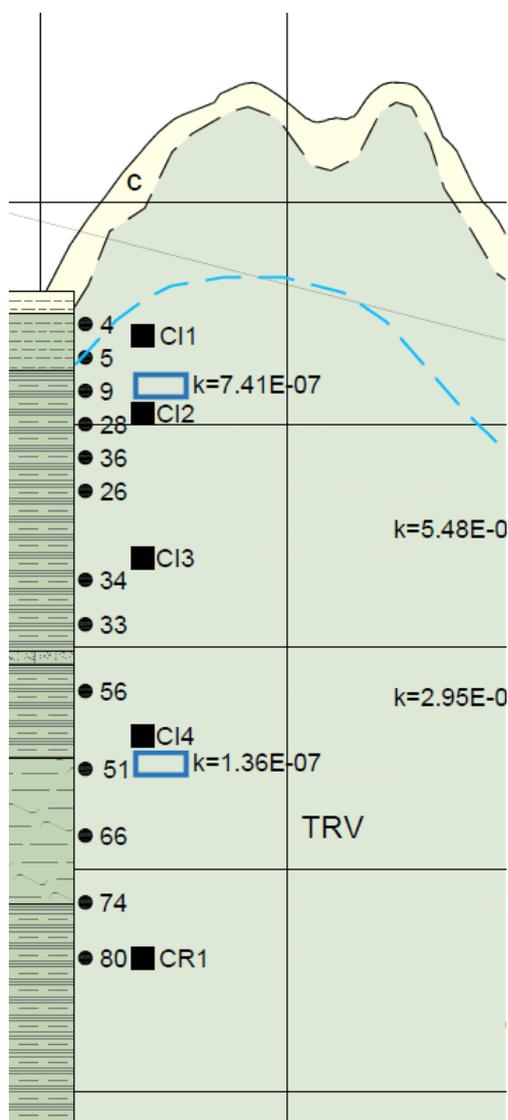


Figura 5 – Stralcio profilo geotecnico

7.1 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche, in sito e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dall'opera in oggetto.

7.1.1 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

Si definiscono dunque i parametri geotecnici caratteristici utilizzati nelle analisi numeriche mostrate nel seguito.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

Tabella 1. Parametri geotecnici caratteristici

U.G.	Distanza da p.c.	γ	c'	ϕ'	E_{op}
[-]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]
TRV	2.0-40	21	30	20	150

7.1.2 Il regime idraulico

Secondo quanto riportato sul profilo geologico, la falda di riferimento può essere posta a circa 7.00 m da piano campagna, nei calcoli a favore di sicurezza è stata considerata a 6 m dal piano campagna.

7.2 Caratteristiche del sito e definizione dell'azione sismica

Le opere in progetto della Galleria GA51 interessano un sito con le seguenti coordinate geografiche: lat = 37.536088 e long. = 14.068066

Alle strutture di sostegno, trattandosi di opere provvisionali, si attribuisce un periodo di riferimento $V_R = 35$ anni (cfr. tab. C2.4.I della Circolare 7/19).

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica, P_{V_R} , 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:

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

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale è stato valutato con approccio semplificato (cfr. § 3.2.2 del DM 17/01/2018) basato sulla classificazione del sottosuolo sulla base dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.3.II del DM 17/01/2018.

La categoria di suolo di riferimento è la categoria di suolo C.

Pertanto, tenendo conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (cfr. cap. 7 DM 17/01/2018):

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

dove:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</p>												
<p>GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS3U</td> <td>04</td> <td>D 29 CL</td> <td>GA 51 00002</td> <td>B</td> <td>10 di 34</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	10 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	10 di 34								

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 del D.M. 17/01/2018);

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 del D.M. 17/01/2018).

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica per le opere sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 1 – Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

Galleria Artificiale GA51		
Strutture di sostegno		
Coord. geografiche	Latitudine: 37.536088 e	Longitudine: 14.068066
T_R	332 (SLV)	
$a_g(g)$	0.069	
F_0	2.579	
Categoria sottosuolo	C	
S_S	1.50	
Categoria topografica	1	
S_T	1.00	
a_{max}/g	0.103	

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B	FOGLIO 11 di 34

8 SOLUZIONI PROGETTUALI

8.1 Galleria artificiale GA51

8.1.1 Opere di sostegno

L'opera di sostegno GA51 comprende

a) Una paratia tirantata su tre ordini realizzata con pali di lunghezza 26 m e di diametro 1000 mm e interasse pari a 1.2 m. L'altezza massima di scavo è di circa 14.80 m, mentre l'altra altezza valutata dimensionante al fine del calcolo è un'altezza media di circa 15.00 m.

I tiranti saranno disposti su più ordini a passo variabile (al fine di rispettare il passo dei pali della paratia). Tali tiranti si comporranno di più trefoli (da 4 e da 5) con un diametro del bulbo di 18 cm. La lunghezza libera è valutata in base all'inclinazione del tirante di 20°, alla sua distanza dal piede della paratia e al valore di accelerazione massima in situ.

Le strutture di sostegno verranno realizzate tramite l'esecuzione di pali trivellati di lunghezza variabile e successivamente per fasi di ribasso si eseguirà l'installazione degli ordini di tiranti attivi, che verranno opportunamente pretirati secondo le esigenze progettuali descritte negli allegati di calcolo.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

9 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 17/01/2018 e del "Manuale di progettazione delle opere civili" RFI DTC SI MA IFS 001 C .

Strutture di sostegno provvisionali

Calcestruzzo per pali	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 14.17 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 29962 \text{ MPa}$

Acciaio per tubi e profilati	
Tipo	S 355 JR / S 275 JR
Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 / 430 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	cfr. 4.2.4 a 4.2.8 del D.M. 17/01/18

Acciaio armonico per tiranti	
Tipo	Trefoli da 0,6"
Tensione di rottura caratteristica	$f_{ptk} \geq 1860 \text{ MPa}$
Tensione elastica all'1% di deformazione	$f_{p(1)k} \geq 1670 \text{ MPa}$

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B450C
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391.3 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio (DM 17/01/2018 Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.)	$\sigma_{lim} = 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B	FOGLIO 13 di 34

10 CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 17/01/2018 e della Circolare n.7/19 (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.- Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.).

10.1 Opere di sostegno

10.1.1 Azioni

Le azioni considerate per la verifica delle strutture di sostegno sono le seguenti:

- **azioni permanenti:** peso proprio degli elementi strutturali, spinta del terreno a monte e a valle dell'opera, carico fittizio simulante l'inclinazione del pendio a monte dell'opera opportunamente discretizzato in modo da simulare fedelmente il reale andamento del profilo topografico del pendio.
- **azioni variabili:** carico variabile sul piano campagna a monte della struttura di sostegno, Q_{1M} , atto a schematizzare nella fase costruttiva l'eventuale presenza di sovraccarichi di varia natura connessi alla realizzazione delle opere.
- **azione sismica:** l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo 8.4.

10.1.2 Approcci progettuali e metodi di verifica

Le verifiche delle strutture di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi,
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Per le strutture di sostegno flessibili si adotta l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 17/01/2018):

- combinazione 1: A1 + M1 + R1

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B	FOGLIO 14 di 34

- combinazione 2: A2 + M2 + R1.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1). Per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata condotta con la combinazione 1 (A1+M1+R1), applicando i coefficienti parziali A1 ($\gamma = 1,3$) all'effetto delle azioni. A tale scopo, nelle analisi, i valori caratteristici dei carichi variabili sfavorevoli sono stati amplificati di un coefficiente pari a $1,5/1,3 = 1,15$.

Al fine di rispettare le richieste della Normativa in merito al modello geometrico di riferimento (§6.5.2.2 DM 17/01/2018) nel caso di opere in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle è diminuita della quantità prevista, per opere vincolate:

$$\Delta h = \min (0.5; 10\% \Delta t)$$

in cui Δt è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

Il corretto dimensionamento nei confronti degli SLU assicura che gli spostamenti dell'opera siano compatibili con le esigenze di funzionalità della stessa; pertanto, trattandosi di opere provvisionali, in assenza di fabbricati o altre opere da salvaguardare a ridosso delle stesse, non si ritengono necessarie ulteriori valutazioni di verifica nei confronti degli SLE.

Per le verifiche di stabilità globale è stato applicato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2 – tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 17/01/2018).

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla configurazione finale dell'opera di sostegno. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari all'unità. Si adotta il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$$

dove:

- a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- α è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018);
- β è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 17/01/2018).

Per la definizione dell'azione sismica si rimanda al paragrafo 7.4. L'effetto del sisma sulle strutture di sostegno è ottenuto applicando un incremento di spinta (cfr § 7.11.6.3.1 del D.M.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B	FOGLIO 15 di 34

17/01/2018 e § C7.11.6.3 della Circolare 7/19) del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera.

$$\Delta S_E = \left[\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{aE} - K_a) \right] / H,$$

dove: γ rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce, H rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso), K_{aE} e K_a rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

Per la valutazione della spinta passiva si assume $\eta=1$ (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018). Il coefficiente sismico verticale, k_v , si assume pari a 0 (§7.11.6.3 del DM 17/01/2018).

I coefficienti di spinta attiva sono determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura, δ , si assume pari a 2/3 della resistenza al taglio del terreno naturale.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo PARATIE (Paratie Plus 2014.1).

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il modulo VSP del codice di calcolo Paratie Plus.

10.1.3 Tiranti di ancoraggio

Gli Stati Limite Ultimi per questa tipologia di opere si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e del raggiungimento della resistenza dei materiali strutturali da cui sono composti.

Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare verificata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

con specifico riferimento allo stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione è da effettuarsi con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, utilizzando per i coefficienti A1 ed M1 i valori riportati nelle Tab. 6.2.I e Tab 6.2.II del DM 17/01/2018 e per le resistenze i valori riportati in Tab. 6.6.I del DM17/01/2018.

La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto (E_d) con la resistenza di progetto R_{ad} , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{sk} i coefficienti parziali Y_R riportati nella tabella precedente, in funzione del tipo di ancoraggio.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</p>												
<p>GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali</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>RS3U</td> <td>04</td> <td>D 29 CL</td> <td>GA 51 00002</td> <td>B</td> <td>16 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	16 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	16 di 34								

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio è stato determinato utilizzando metodi analitici, pertanto il valore di questa deve essere assunto come il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} riportati in Tab. 6.6. Il del DM 17/01/2018, in funzione del numero di verticali di indagine che consentono la completa identificazione del modello geotecnico del sottosuolo per il terreno interessato dalle fondazioni degli ancoraggi.

Nella valutazione analitica della resistenza allo sfilamento degli ancoraggi, inoltre, si fa riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza del terreno M1 (pertanto non vengono ridotte le caratteristiche dei terreni in cui le fondazioni degli ancoraggi verranno realizzate).

La lunghezza libera del tirante, in assenza di evento sismico è definita dall'intersezione con un piano inclinato di $(45^\circ - \varphi/2)$ sulla verticale, parallelo al piano passante per il piede della paratia e da esso distante 0.20 h.

In presenza di evento sismico, con i tiranti attivi, secondo quanto proposto dal DM 17/01/2018 al § 7.11.6.4, la lunghezza libera da considerare è:

$$L_E = L_L \times (1 + 1.5 \times a_{\max}/g)$$

dove:

L_E : lunghezza libera in condizioni sismiche

L_L : lunghezza libera in condizioni statiche

10.1.4 Stabilità globale

In accordo con le indicazioni del DM 17/01/2018 § 6.8.2, le verifiche di sicurezza SLU sono state condotte secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), in cui A2 sono i coefficienti moltiplicativi delle azioni e M2 e R2 sono i coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza dei materiali e della resistenza globale del sistema. Il rapporto tra R_d ed E_d dovrà risultare sempre maggiore o uguale a $\gamma_R = 1.1$ in condizioni statiche per assicurare che la verifica di sicurezza richiesta da normativa sia rispettata.

Per le verifiche sismiche si applicano gli stessi criteri ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§7.11.1 e § 7.11.4 del DM 17/01/2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\phi_R = 1.2$. (§ 7.11.4 del DM 17/01/2018).

Per la valutazione della superficie di scorrimento critica (ed in generale di tutte le superfici di scorrimento) è stato utilizzato il metodo di Morgenstern & Price.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi SLV, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

con k_h e k_v pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max}/g \text{ e } k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

in cui:

- β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{\max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito (cfr. §7.4).
- g : accelerazione di gravità.

Il valore di β_s è assunto pari a 0.38 coerentemente con le indicazioni del §7.11.4 delle DM 17/01/2018.

11 VERIFICA DELLE OPERE

11.1 Opere di sostegno

Sono state verificate le seguenti sezioni:

- a: paratia frontale H= 26 m – 3 tiranti

11.1.1 Paratia frontale H=26m – 3 tiranti

Sono di seguito descritti il modello geotecnico e le principali caratteristiche dell'opera strutturale adottate nelle analisi di verifica.

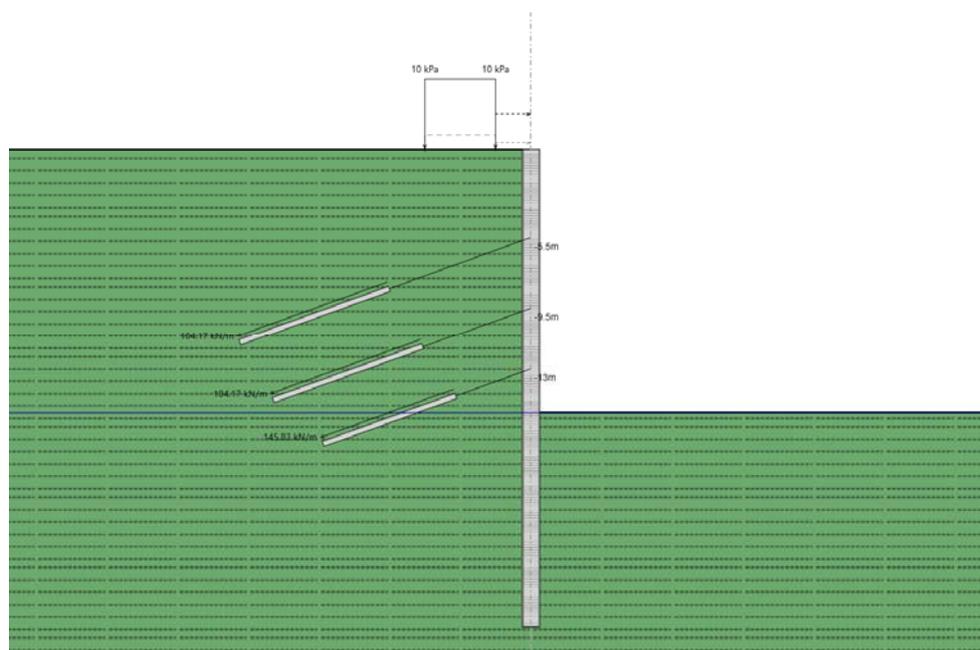


Figura 6. Schema di calcolo paratia

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

Tabella 2. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1

Tipologia struttura di sostegno	pali CFA ϕ 1000 ad interasse 0.90 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 26\text{m (palo)} + 1.2\text{ m (cordolo)}$
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 14.80\text{ m}$
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\%\Delta t] = 15.00\text{m}$
Ordini di tiranti (n°)	3
Passo orizzontale tiranti	da 2.40m
Passo verticale dei tiranti	3.50m-4.00m
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 0\text{ kPa}$
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0\text{ kPa}$
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 10\text{ kPa}$
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0\text{ kPa}$

Tabella 3. Parametri geotecnici di calcolo

Terreno	z_f	γ	c'	ϕ	E_{op}
	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]
TRV	-	21	30	20	150

Tabella 4. Parametri per l'analisi sismica

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	$a_g(g)$	S	a_{max}/g	u_s
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]
TRV	SLV	C	T1	0.0690	1.5	0.103	0.1

Fasi di calcolo

- 1) Geostatico e carico permanente del versante a monte della paratia di pali, quota di falda a 6.00 m da p.c.;

GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599
Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	19 di 34

- 2) Primo scavo fino a quota $z=5.50\text{m}$;
- 3) Posa del primo ordine di tiranti a $z= 5.00\text{m}$;
- 4) Secondo scavo fino a quota $z=9.50\text{m}$;
- 5) Posa del secondo ordine di tiranti a $z= 9.00\text{m}$;
- 6) Terzo scavo fino a quota $z=13.00\text{m}$;
- 7) Posa del terzo ordine di tiranti a $z= 12.50\text{m}$;
- 8) Ribasso ulteriore al fine di raggiungere la “Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)” di 15.50m da testa cordolo, posizione della falda a monte e valle sotto quota piano di scavo.

Risultati delle analisi e verifiche

I risultati delle analisi sono di seguito descritti.

1) Verifiche SLU GEO

- Verifica del complesso opera-terreno – deformata dell’opera di sostegno

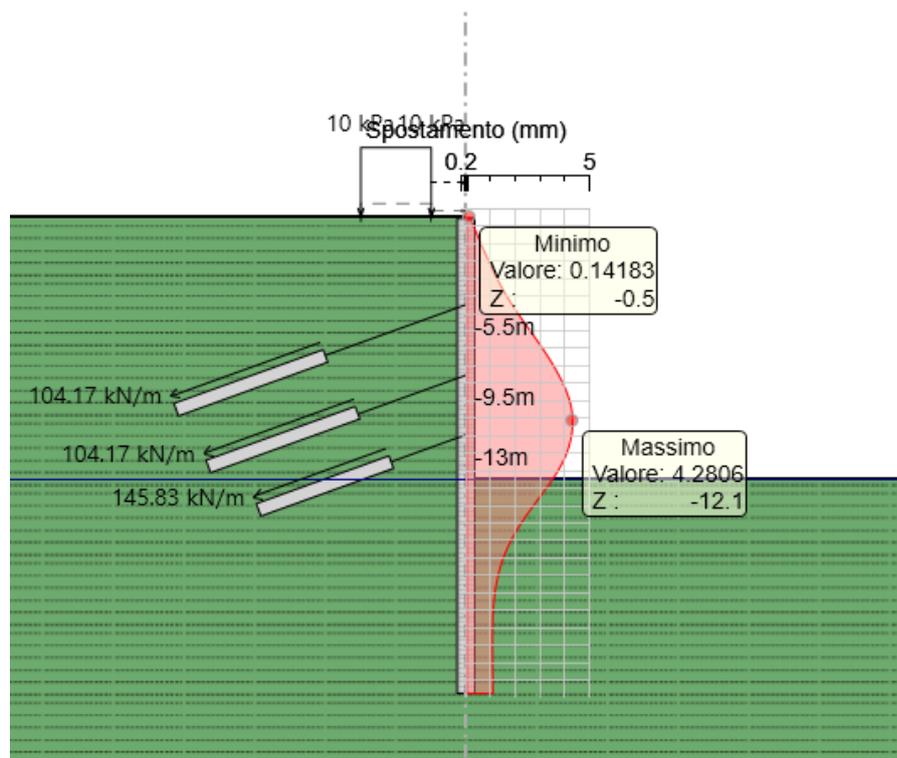


Figura 7. Deformata dell’opera di sostegno nella configurazione di fondo scavo

La deformata dell’opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599
Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	20 di 34

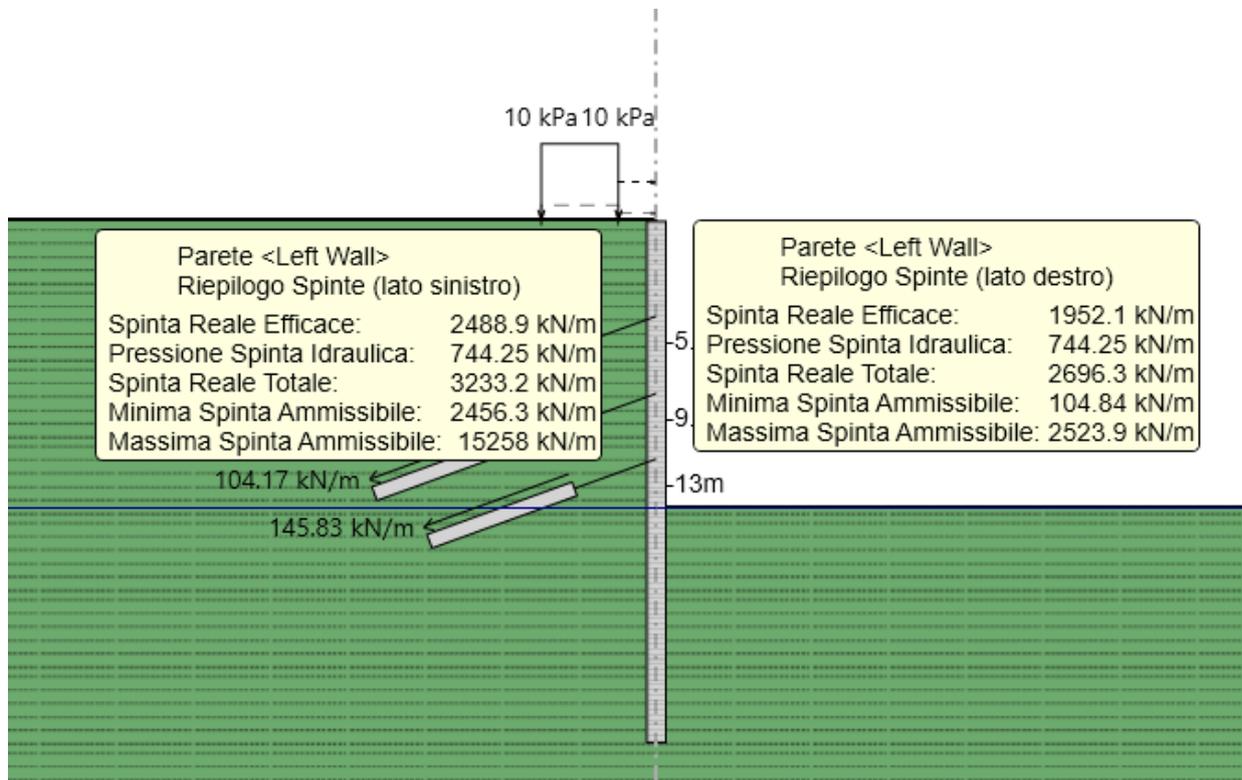


Figura 8. Riepilogo spinte SLU

GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599
Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	21 di 34

1) Momento di involucro SLU

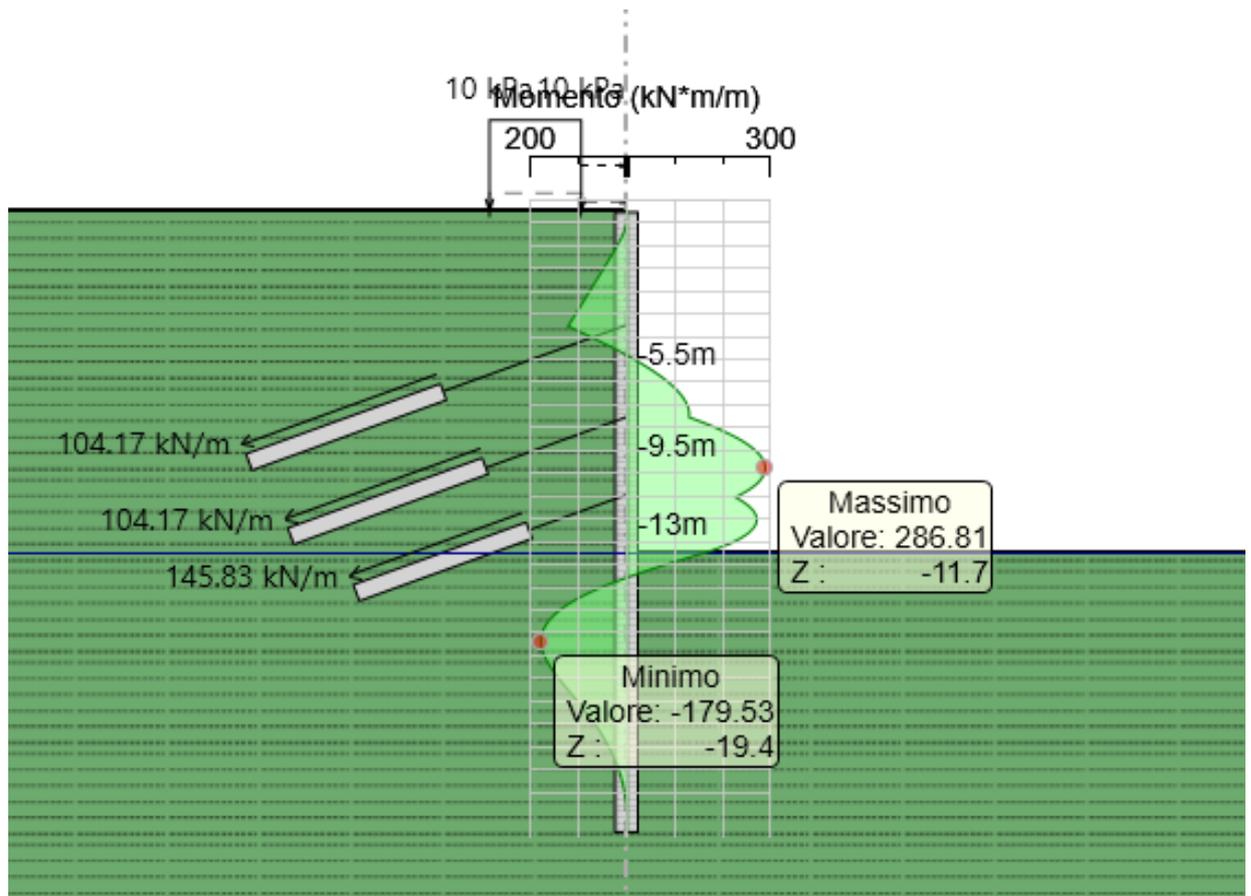


Figura 9. Momento di involucro SLU

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</p>												
<p>GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali</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>RS3U</td> <td>04</td> <td>D 29 CL</td> <td>GA 51 00002</td> <td>B</td> <td>22 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	22 di 34
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	22 di 34								

2) Taglio di involuppo SLU

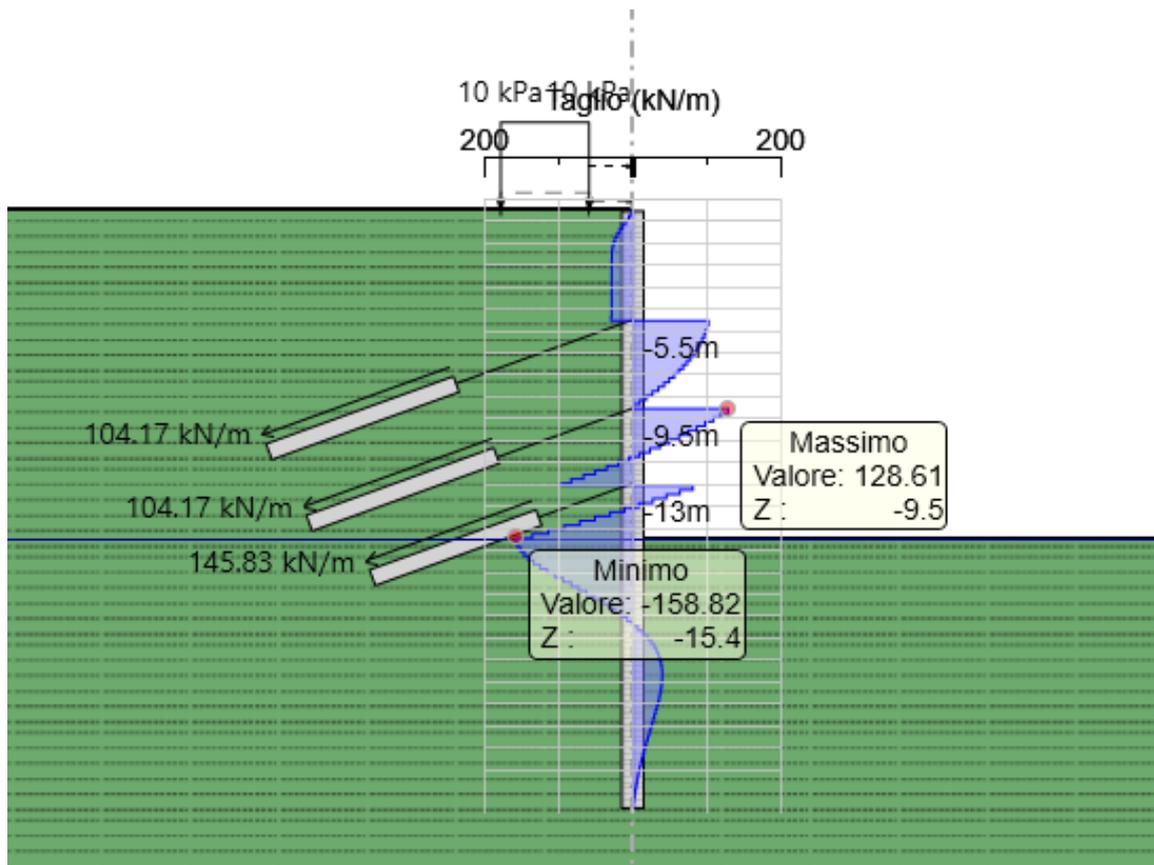


Figura 10. Taglio di involuppo SLU

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

– Verifica tiranti

Tabella 5. Geometrie ordini tiranti a trefoli

Ordine tirante	i	Quota da testa paratia	n° trefoli	L _{libera di progetto}	L _{fondazione}	L _{totale}	pretiro
					bulbo		
[-]	[°]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[KN]
I	20	5	4	8.5	9	17.5	250
II	20	9	4	6.5	9	15.5	250
III	20	12.5	5	4.5	8	12.5	350

Tabella 6. Tensioni di aderenza bulbi di ancoraggio

ordine	Diam.Perf. [cm]	coeff. sbulbam.	τ_k [kPa]	ξ
I	18	1.2	150	1.8
II	18	1.2	150	1.8
III	18	1.2	200	1.8

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE STATICA - A1+M1														
ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	L	τ terr-fond.	Diametro perf.	γ_R	αD	γ_{azioni}	α	Rsd	Esd	Rsd/Esd	V.sfilamento	V. g. resistenza (*)
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kN/m ²]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]		
1	2.4	140.78	9	83	18	1.2	21.6	1.3	1.2	424.1	337.9	1.255	si	si
2	2.4	147.06	9	83	18	1.2	21.6	1.3	1.2	424.1	352.9	1.202	si	si
3	2.4	202.01	8	111	18	1.2	21.6	1.3	1.2	502.7	484.8	1.037	si	si

Figura 11. Verifica dell'ancoraggio dei tiranti a trefoli in condizioni statiche

Le verifiche dell'ancoraggio dei tiranti in condizioni statiche sono soddisfatte.

VERIFICA ANCORAGGIO S.L.U. - CONDIZIONE SISMICA - A1+M1														
ordine	passo tiranti	Tiro max paratie	L	τ terr-fond.	Diametro perf.	γ_R	αD	γ_{azioni}	α	Rsd	Esd	Rsd/Esd	V.sfilamento	V. g. resistenza (*)
[-]	[m]	[kN/m]	[m]	[kN/m ²]	[cm]	[-]	[cm]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]		
1	2.4	161.27	9	83	18	1.2	21.6	1	1.2	422.4	387.0	1.091	si	si
2	2.4	154.12	9	83	18	1.2	21.6	1	1.2	422.4	369.9	1.142	si	si
3	2.4	196.14	8	111	18	1.2	21.6	1	1.2	502.2	470.7	1.067	si	si

Figura 12. Verifica dell'ancoraggio dei tiranti a trefoli in condizioni sismiche

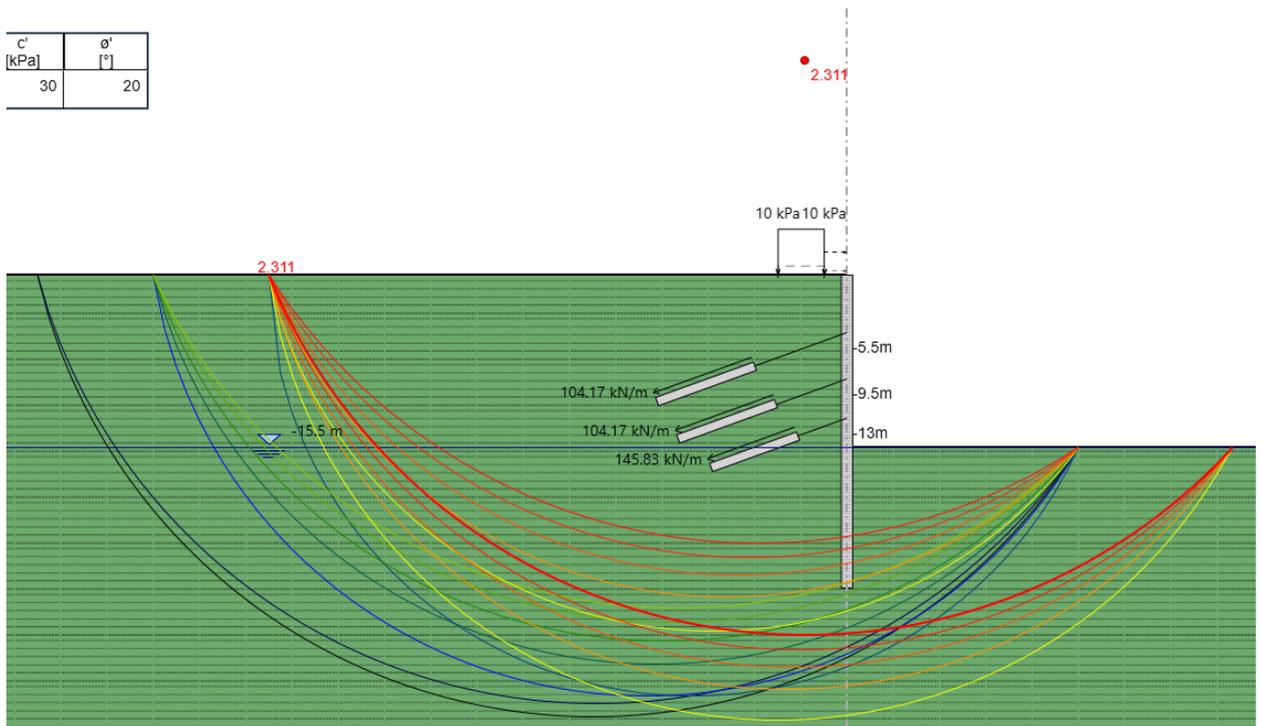
Le verifiche dell'ancoraggio dei tiranti in condizioni sismiche sono soddisfatte.

GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599
Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	24 di 34

– Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno – condizioni statiche

c' [kPa]	φ' [°]
30	20

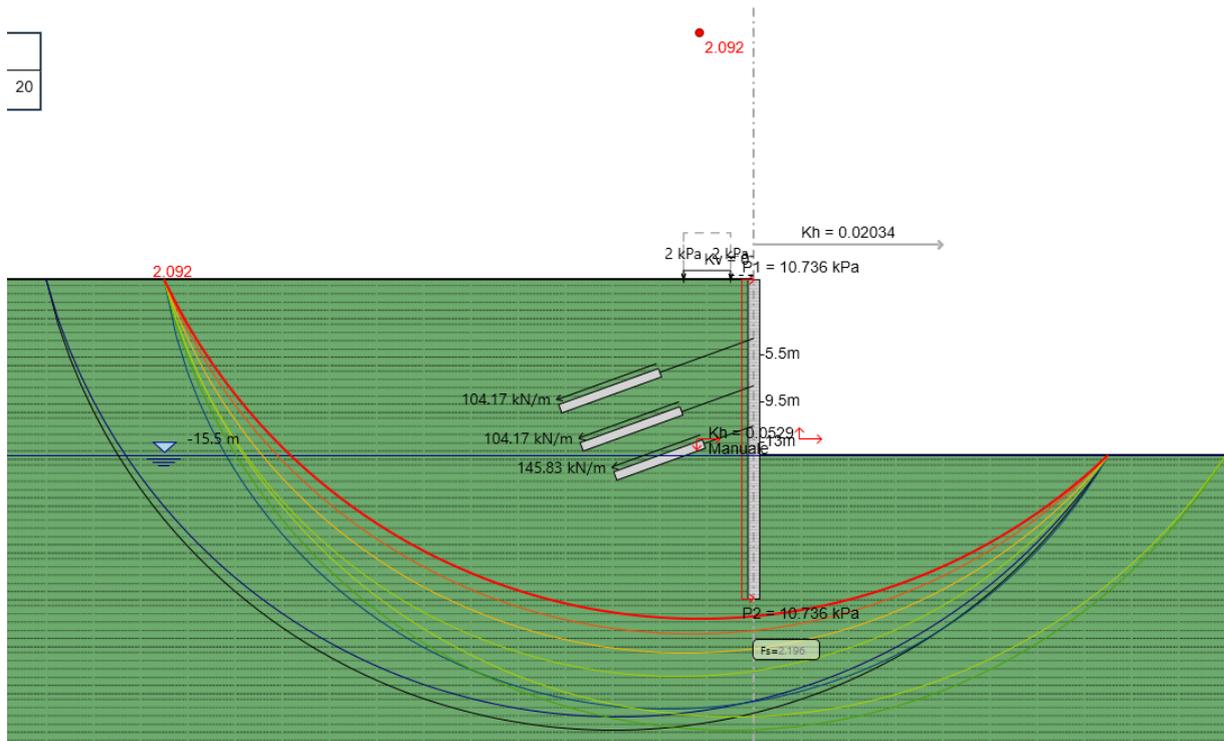


FS=2.311

GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599
Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	25 di 34

– Verifica stabilità globale del sistema opera – terreno – condizioni simiche GEO



FS= 2.092

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

3) Verifiche SLU STR

Le verifiche sono state condotte prendendo in considerazione le due sezioni critiche:

Nel seguito si mostrano le combinazioni di azioni con cui sono state eseguite le verifiche del palo in c.a. SEZ.A , avente diametro 1000 mm, passo 1.20m armato con 1 ordine di barre di diametro 26 mm (24 totali) con copriferro di 84 mm.

COMBINAZIONI GABBIA 1 (a palo)			
	Mmax	Tmax	Nmax
	KN	KN	KN
SLU	344.2	10.5	206.2
SLU	200.1	190.6	278.8
SLV	436.4	8.1	365.2
SLV	14.8	162.7	286.7

Tabella 7. Combinazioni di sollecitazioni agenti sul palo in c.a

DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	141.60	daN/cm ²
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80	daN/cm ²
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm ²
	Resis. media a trazione fctm:	26.00	daN/cm ²
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm ²
	Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0	daN/cm ²
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm ²
	Resist. ultima di progetto ftd:	4500.0	daN/cm ²
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 50.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	41.5	20	24

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	20617	34417	0	1054	0
2	27882	20014	0	19058	0
3	36521	43644	0	805	0
4	28667	1482	0	16274	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.3 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.6 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 5.7 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sn Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
 Mx Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	20617	34417	0	20615	96058	0	2.79	90.5(23.6)
2	S	27882	20014	0	27909	98034	0	4.90	90.5(23.6)
3	S	36521	43644	0	36539	100351	0	2.30	90.5(23.6)
4	S	28667	1482	0	28669	98239	0	66.29	90.5(23.6)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00111	0.0	50.0	0.00082	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
2	0.00113	0.0	50.0	0.00085	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
3	0.00116	0.0	50.0	0.00087	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
4	0.00114	0.0	50.0	0.00085	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000033471	-0.000567433	----	----
2	0.000000000	0.000033763	-0.000555331	----	----
3	0.000000000	0.000034106	-0.000541092	----	----
4	0.000000000	0.000033793	-0.000554071	----	----

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B	FOGLIO 29 di 34

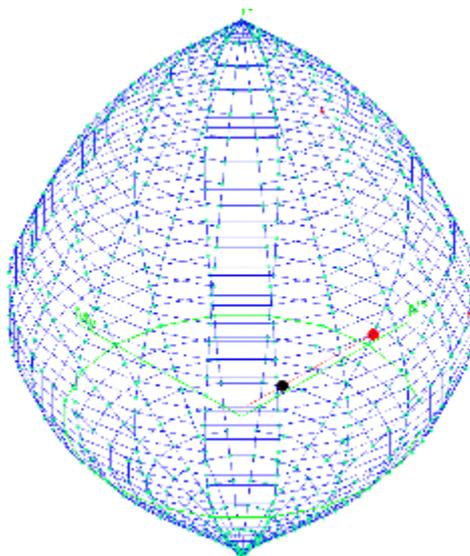


Figura 13. Dominio M-N in condizioni statiche

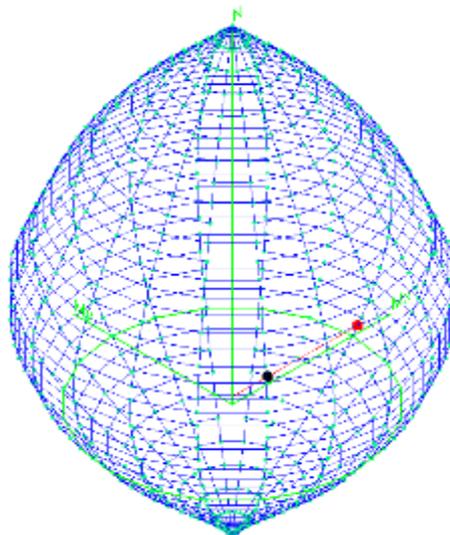


Figura 14. Dominio M-N in condizioni sismiche

Come mostrato nelle due figure precedenti, le verifiche a pressoflessione SLU e SLV sono soddisfatte.

GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599
 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	04	D 29 CL	GA 51 00002	B	30 di 34

Tabella 8. Verifica a taglio in condizioni statiche

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	500	mm				
c	84	mm				
rs	416	mm				
α	0.56	rad				
Atot	785398	mm ²				
A	644568	mm ²				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	764.8	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.511			N.ro		area_ferro
k	1.511		As	10	ϕ	24.0
Asl	4524	mm ²				
Asl/(bw·d)	0.007					
ρ_1	0.007		Vrd	303.4	kN	
vmin	0.325		Ved	191	KN	
vmin·bw·d	209166	N	Vrd/Ved	1.59	-	
Vrd	303366	N				
Non necessita di armatura a taglio						

Tabella 9. Verifica a taglio in condizioni sismiche

VERIFICA A TAGLIO - SLV						
r	500	mm				
c	84	mm				
rs	416	mm				
α	0.56	rad				
Atot	785398	mm ²				
A	644568	mm ²				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	764.8	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.511			N.ro		area_ferro
k	1.511		As	10	ϕ	24.0
Asl	4524	mm ²				
Asl/(bw·d)	0.007					
ρ_1	0.007		Vrd	303.4	kN	
vmin	0.325		Ved	163	KN	
vmin·bw·d	209166	N	Vrd/Ved	1.86	-	
Vrd	303366	N				
Non necessita di armatura a taglio						

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

Nelle due tabelle precedenti si sono riportate le verifiche a taglio per sezioni non armate a taglio, le verifiche risultano essere soddisfatte in entrambe le condizioni, quindi non è necessario armare a taglio.

- Verifica dei trefoli in acciaio dei tiranti

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A1+M1												
ordine	num. trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	$f_{p(1)k}$	γ_{azioni}	γ_s	γ_R	Rd	Ed	Rsd/Esd	verifica >1
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]	
1	4	2.4	140.78	1.39	1670	1.3	1.15	1	807.4	439.2	1.838	si
2	4	2.4	147.06	1.39	1670	1.3	1.15	1	807.4	458.8	1.760	si
3	5	2.4	202.01	1.39	1670	1.3	1.15	1	1009.3	630.3	1.601	si

Figura 15. Verifiche dei trefoli dei tiranti in condizioni statiche

Le verifiche dei trefoli in acciaio a trazione in condizioni statiche sono soddisfatte.

VERIFICA DEI TREFOLI A TRAZIONE - CONDIZIONE STATICA - A1+M1												
ordine	num. trefoli	passo tiranti	Tiro max paratie	Area trefolo	$f_{p(1)k}$	γ_{azioni}	γ_s	γ_R	Rd	Ed	Rsd/Esd	verifica >1
[-]	[-]	[m]	[kN/m]	[cm ²]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[-]	
1	4	2.4	161.27	1.39	1670	1	1.15	1	807.4	387.0	2.086	si
2	4	2.4	154.12	1.39	1670	1	1.15	1	807.4	369.9	2.183	si
3	5	2.4	196.14	1.39	1670	1	1.15	1	1009.3	470.7	2.144	si

Figura 16. Verifiche dei trefoli dei tiranti in condizioni sismiche

Le verifiche dei trefoli in acciaio a trazione in condizioni sismiche sono soddisfatte.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

– Verifica travi di ripartizione

VERIFICA DI PROFILATI TIPO "H" A FLESSIONE E TAGLIO - 1 ORDINE																
A1+M1	Dati da Paratie		Tipo di acciaio				Profilato									
	T.Paratie	passo	Tipo	fyk	γ _{m0}	fyd	Tipo e numero	b	t flangia	t _{web}	r	h _{web}	W _{el}	W _{pl}	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]	HEB 160	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	101.54	2.4	S355	355	1.05	338.0952	2	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	91.76															

CASO	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche		controllo classe sezione (*)	
	Msk	Vsk	γ _A	Msd	Vsd	M _{el,Rd}	M _{pl,Rd}	M _{rd}	V _{pl,Rd}	M _{rd} /M _{ed}	V _{rd} /V _{ed}	X	Y
	[kN/m]	[kN]	[-]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN]	[-]	[-]	C/tf	(235/fy) ^{0.5}
STATICO	29.24352	60.924	1.3	38.01658	79.2012	105.3167	119.6857	119.6857	343.5509	3.15	>1	4.337698	>1
SISMICO	26.42688	55.056	1	26.42688	55.056	105.3167	119.6857	119.6857	343.5509	4.53	>1	6.240027	>1

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE	
Valore di snervamento dell'acciaio	f _y 355 [MPa]
Coefficiente ε	ε 0.81 [-]
Classificazione dell'anima	
Altezza dell'anima depurata dei raccordi o delle saldature	c 104.00 [mm]
Spessore dell'anima	t _w 8.00 [mm]
Rapporto tra altezza e spessore	c/t _w 13.00 [-]
Classificazione dell'anima per flessione	CLASSE 1
Classificazione dell'anima per compressione	CLASSE 1
Classificazione delle ali	
Semi larghezza delle ali depurata dei raccordi o delle saldature	c 61 [mm]
Spessore delle ali	t _f 13.00 [mm]
Rapporto tra semi larghezza e spessore	c/t _f 4.69 [-]
Classificazione delle ali per flessione	CLASSE 1

Figura 17. Verifica della trave di ripartizione del primo ordine di tiranti

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

VERIFICA DI PROFILATI TIPO "H" A FLESSIONE E TAGLIO - 2 ORDINE

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo di acciaio				Profilato									
	T.Paratie	passo	Tipo	fyk	γ _{m0}	fyd	Tipo e numero	b	t flangia	t_web	r	hweb	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	128.61	2.4	S355	355	1.05	338.0952	HEB 160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	110.68						2									

CASO	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche		controllo classe sezione (*)				
	Msk	Vsk	γ _A	Msd	Vsd	Mel,Rd	Mpl,Rd	Mrd	Vpl,rd	Mrd/Med	Vrd/Ved	X	Y			
	[kN/m]	[kN]	[-]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN]	[-]	[-]					
STATICO	37.03968	77.166	1.3	48.15158	100.3158	105.3167	119.6857	119.6857	343.5509	2.49	>1	3.424694	>1	4.69	(235/fy) ^{0.5}	7.322548621
SISMICO	31.87584	66.408	1	31.87584	66.408	105.3167	119.6857	119.6857	343.5509	3.75	>1	5.173336	>1			

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f _y	355 [MPa]
Coefficiente ε	ε	0.81 [-]
Classificazione dell'anima		
Altezza dell'anima depurata dei raccordi o delle saldature	c	104.00 [mm]
Spessore dell'anima	t _w	8.00 [mm]
Rapporto tra altezza e spessore	c/t _w	13.00 [-]
Classificazione dell'anima per flessione		CLASSE 1
Classificazione dell'anima per compressione		CLASSE 1
Classificazione delle ali		
Semi larghezza delle ali depurata dei raccordi o delle saldature	c	61 [mm]
Spessore delle ali	t _f	13.00 [mm]
Rapporto tra semi larghezza e spessore	c/t _f	4.69 [-]
Classificazione delle ali per flessione		CLASSE 1

Figura 18. Verifica della trave di ripartizione del secondo ordine di tiranti

VERIFICA DI PROFILATI TIPO "H" A FLESSIONE E TAGLIO - 3 ORDINE

A1+M1	Dati da Paratie		Tipo di acciaio				Profilato									
	T.Paratie	passo	Tipo	fyk	γ _{m0}	fyd	Tipo e numero	b	t flangia	t_web	r	hweb	Wel	Wpl	A	Av
CASO	[kN/m]	[m]	acciaio	[MPa]	[-]	[MPa]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ²]
STATICO	96.43	2.4	S355	355	1.05	338.0952	HEB 160	16	1.3	0.8	1.5	13.4	311.5	354	54.25	17.6
SISMICO	97.41						2									

CASO	Azioni sollecitanti					Azioni resistenti				Verifiche		controllo classe sezione (*)				
	Msk	Vsk	γ _A	Msd	Vsd	Mel,Rd	Mpl,Rd	Mrd	Vpl,rd	Mrd/Med	Vrd/Ved	X	Y			
	[kN/m]	[kN]	[-]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN]	[-]	[-]					
STATICO	27.77184	57.858	1.3	36.10339	75.2154	105.3167	119.6857	119.6857	343.5509	3.32	>1	4.567561	>1	4.69	(235/fy) ^{0.5}	7.322548621
SISMICO	28.05408	58.446	1	28.05408	58.446	105.3167	119.6857	119.6857	343.5509	4.27	>1	5.878091	>1			

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA					
	GA51: Galleria Artificiale da pk 1+435 a pk 1+599 Variante LS: Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 04	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO GA 51 00002	REV. B

<u>CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE</u>	
Valore di snervamento dell'acciaio	f_y 355 [MPa]
Coefficiente ϵ	ϵ 0.81 [-]
<u>Classificazione dell'anima</u>	
Altezza dell'anima depurata dei raccordi o delle saldature	c 104.00 [mm]
Spessore dell'anima	t_w 8.00 [mm]
Rapporto tra altezza e spessore	c/t_w 13.00 [-]
<i>Classificazione dell'anima per flessione</i>	CLASSE 1
<i>Classificazione dell'anima per compressione</i>	CLASSE 1
<u>Classificazione delle ali</u>	
Semi larghezza delle ali depurata dei raccordi o delle saldature	c 61 [mm]
Spessore delle ali	t_r 13.00 [mm]
Rapporto tra semi larghezza e spessore	c/t_r 4.69 [-]
<i>Classificazione delle ali per flessione</i>	CLASSE 1

Figura 19. Verifica della trave di ripartizione del terzo ordine di tiranti

Le verifiche delle travi di ripartizione in condizioni statiche e sismiche sono soddisfatte.

12 INCIDENZA DEL PALO

90	kg/m	Incidenza per unità di lunghezza
115	kg/m ³	Incidenza per unità di volume di palo