

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)**

Opere di sostegno variante linea storica

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58

Relazione di calcolo

SCALA:

-


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

RS3U 40 D 29 CL MU5800 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	M.Arcangeli	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	F.Arduini
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	M.Arcangeli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	0

ITALFERR S.p.A.  
Direzione Tecnica  
Infrastrutture Centro  
Dott. Ing. Fabrizio Arduini  
Aut. del 12/04/2020 n. 427



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>												
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	<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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>1 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	1 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	1 di 51								

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
4	ALLEGATI .....	5
5	MATERIALI .....	6
6	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
7	FASE CONOSCITIVA .....	8
7.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOTECNICO .....	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>	8
7.2	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	9
8	SOLUZIONI PROGETTUALI .....	11
8.1.1	<i>Opere di sostegno - paratie.....</i>	11
9	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI .....	12
10	CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE – PARATIE.....	13
10.1	OPERE DI SOSTEGNO .....	13
10.1.1	<i>Azioni.....</i>	13
10.1.2	<i>Combinazioni di calcolo e approcci progettuali.....</i>	13
10.1.3	<i>Stabilità globale.....</i>	15
11	CRITERI DI CALCOLO DEL SOFTWARE .....	16
12	VERIFICA DELLE OPERE.....	17
12.1	PARATIA TIPO X .....	17
	CARICHI PERMANENTI .....	18
	<i>Sovrastruttura ferroviaria.....</i>	18

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>												
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	<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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>2 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	2 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	2 di 51								

CARICHI VARIABILI.....	18
<i>Carichi mobili da traffico ferroviario</i> .....	18
12.1.1.1 <i>Sintesi dei risultati</i> .....	23
12.1.1.2 <i>Stabilità geotecnica della paratia</i> .....	26
12.2    PARATIA X A RIDOSSO DELLA SPALLA DEL VIADOTTO VI53.....	37
12.2.1 <i>Analisi dei carichi</i> .....	38
CARICHI PERMANENTI .....	38
<i>Sovrastruttura ferroviaria</i> .....	38
CARICHI VARIABILI.....	38
<i>Carichi mobili da traffico ferroviario</i> .....	38
• <i>Sintesi dei risultati</i> .....	42
• <i>Stabilità geotecnica della paratia</i> .....	44
12.3    INCIDENZA PARATIA X .....	51

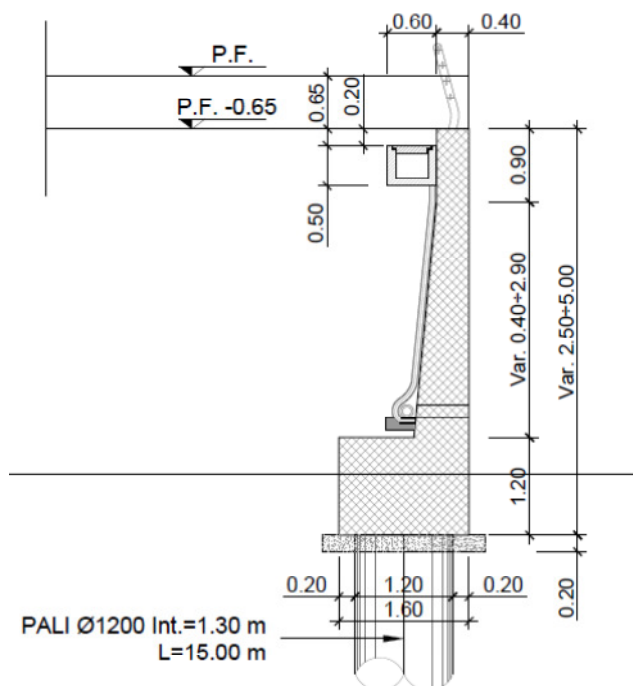
 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A) OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</p>												
<p>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>3 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	3 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	3 di 51								

## 1 PREMESSA

Il presente documento riguarda il dimensionamento delle opere di sostegno definitive inquadrate all'interno dei lavori di costruzione del nuovo collegamento ferroviario Palermo-Catania, specificamente del Lotto 4a di tale progetto dalla progr. 2+127 km alla progr. 2+286 km (tratto in variante).

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

L' opera di sostegno in esame consiste in paratie di pali in destra trivellati con diametro nominale di 1200 mm ed interasse 1.3 m. I pali hanno una lunghezza di 15m

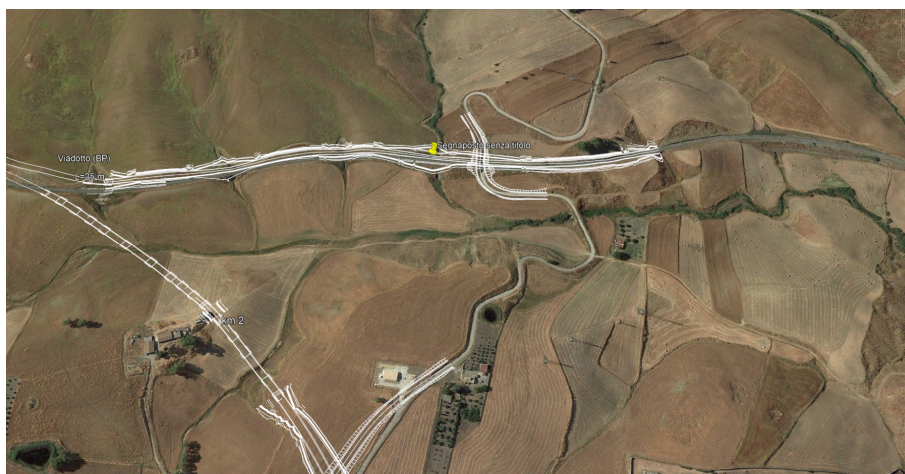


La paratia MU58 nel tratto a ridosso della spalla del VI53 è caratterizzata da pali di lunghezza 25 m è stata dimensionata per tenere conto della fase di cantiere propedeutica alla realizzazione della spalla del VI53, in relazione a tale funzione la vita di riferimento dell'opera è minore di 2 anni quindi non viene considerata la fase sismica nei calcoli.

In accordo con la Normativa vigente, al fine di valutare i parametri di azione sismica dell'area, si utilizzano le seguenti coordinate: lat = 37.537916 e long.= 14.082561

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)          OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU5800001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>4 di 51</b>

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



*Figura 1. Posizione Geografica*

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

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>												
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	<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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>5 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	5 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	5 di 51								

### 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;
- Rif. [4] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sottobinario
- Rif. [5] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- Rif. [6] EN 1992-1-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules of building
- Rif. [7] RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture
- Rif. [8] RFI DTC SI SP IFS 001 C - Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili
- Rif. [9] EC08 – Eurocodice 8
- Rif. [10] Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea - Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.

### 4 ALLEGATI

- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.58.0.0.001.A RI54: Paratia di sostegno in dx MU58:- Pianta, prospetto e sezioni
- 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

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	6 di 51

## 5 MATERIALI

### Calcestruzzo per pali C25/30

Resistenza cubica caratteristica	Rck = 30.0	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	Ec = 31447	N/mm <sup>2</sup>
Rapporto A/C	< 0.56	
Cemento per mc di impasto	= 300	Kg
Classe di esposizione	XC2	
Copriferro	60	mm

### Calcestruzzo per cordolo C32/40

Resistenza cubica caratteristica	Rck = 40.0	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	Ec = 34625	N/mm <sup>2</sup>
Rapporto A/C	< 0.50	
Cemento per mc di impasto	= 350	Kg
Classe di esposizione	XC3-XS1	
Copriferro	45 mm	

### Acciaio per armatura B450C

Tensione caratteristica di snervamento	fyk ≥ 450	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di calcolo	fyd ≥ 391.3	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	Es = 210000	N/mm <sup>2</sup>



RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	7 di 51

## 6 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il tratto interessato dalle opere di sostegno definitive si estende dalla progr. 2+127 km alla progr. 2+286 km (tratto in variante). A partire dal piano campagna si incontrano le litologie del C (Coltri) e del TRV (Formazione Terravecchia: argille/ peliti).

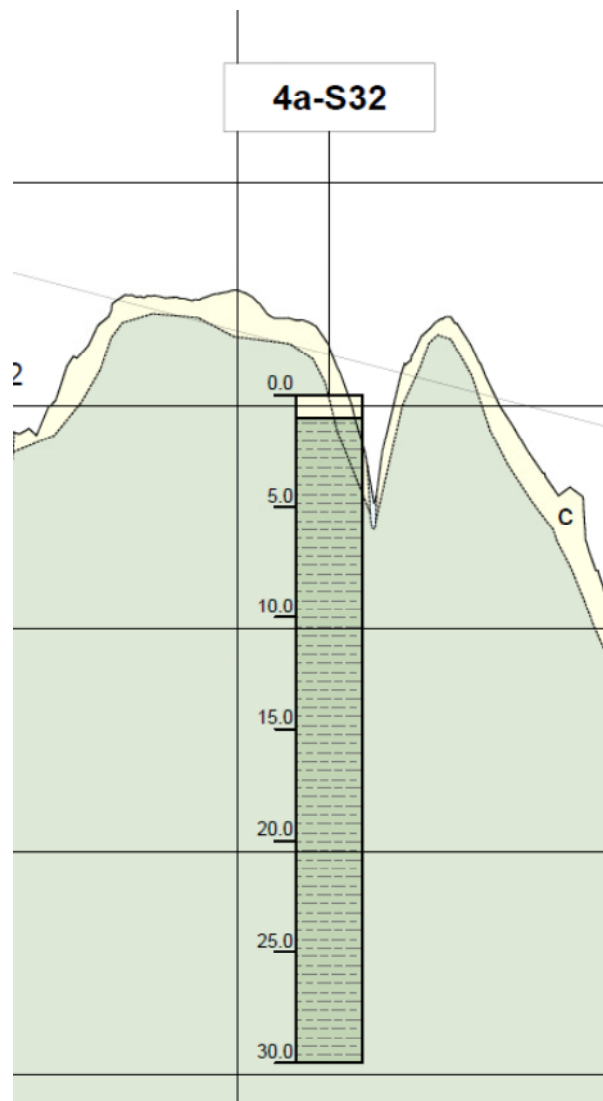


Figura 2. Profilo geologico

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)          OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>												
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	<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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>8 di 51</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	8 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	8 di 51								

## 7 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.

### 7.1 Inquadramento geologico - geotecnico

La paratia di sostegno MU58 viene realizzata all'interno della formazione della TRV, ovvero dell'unità di della formazione Terravecchia: argille/ peliti.

Per una dettagliata descrizione del modello geotecnico del sito si rimanda al documento

–“RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE” (RS3U40D29GEGE000000C)

- “PROFILO GEOTECNICO VARIANTE LINEA STORICA ” (RS3U40D29F6GE0000008C).

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 dalle opere.

#### 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.

Tabella 1. Parametri geotecnici di progetto

Litologia	Distanza da p.c.	Potenza Strato	$c'_{M1}$	$c'_{M2}$	$\phi'_{M1}$	$\phi'_{M2}$
[-]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[°]	[°]
<b>C</b>	<b>0-2.</b>	2.00	0	0	19	15.83
<b>TRV</b>	<b>2-40</b>	38.00	10	8.33	20	17.50

#### 7.1.2 Il regime idraulico

Secondo quanto riportato sul profilo geologico, la falda di riferimento può essere posta a circa 4.00 m da piano campagna.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)          OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B	FOGLIO 9 di 51

## 7.2 Caratteristiche del sito e definizione dell'azione sismica

Le opere in progetto interessano un sito con le seguenti coordinate geografiche: lat = 37.537916 e long.= 14.082561

Alle strutture di sostegno, trattandosi di opere definitive, si attribuisce un periodo di riferimento  $V_R = 75$  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:

$a_g$  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:

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>												
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	<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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>10 di 51</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	10 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	10 di 51								

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

	Km 2+127 – Km 2+286	
	Strutture di sostegno	
Coord. geografiche	Latitudine: 37.537916	Longitudine: 14.082561
$T_R$	1068 (SLV)	
$a_g/g$	0.099	
$F_0$	2.647	
Categoria sottosuolo	C	
$S_s$	1.20	
Categoria topografica	1	
$S_T$	1.00	
$a_{max}/g$	0.149	

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>												
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	<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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>11 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	11 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	11 di 51								

## 8 SOLUZIONI PROGETTUALI

### 8.1.1 Opere di sostegno - paratie

Le opere in progetto interessano un tratto che comprende:

- 1) Una paratia “tipo X” realizzata con pali di diametro 1200mm e interasse pari a 1.30 m. L'altezza massima di scavo è di circa 1.35 m, mentre l'altra altezza valutata dimensionante al fine del calcolo è un'altezza media di circa 1.85m.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU5800001</b>	REV. <b>B</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

<b>Calcestruzzo per pali</b>	
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	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 29962 \text{ MPa}$

<b>Acciaio per tubi e profilati</b>	
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

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

<b>Acciaio per barre di armatura</b>	
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).	$\sigma_{lim} = 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)          OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B	FOGLIO 13 di 51

## 10 CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE – PARATIE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 17/01/2018 e della Circolare n.7/19 (Rif. [1]- Rif. [2]).

### 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 Combinazioni di calcolo e approcci progettuali

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:  $A1 + M1 + R1$
- 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

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)          OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B	FOGLIO 14 di 51

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  $\Delta t$  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 provvisoriale, 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,
- $\alpha$  è il coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 del DM 17/01/2018);
- $\beta$  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. 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.



 <p><b>ITALFERR</b> 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>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>15 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	15 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	15 di 51								

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

dove:  $\gamma$  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  $\alpha=1$  (§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,  $\delta$ , 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 codice di calcolo SLOPE/W (GEO-SLOPE/W 2007).

### 10.1.3 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  $\gamma_R = 1.2$ . (§ 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:

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

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

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

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)          OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B	FOGLIO 16 di 51

in cui:

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

## 11 CRITERI DI CALCOLO DEL SOFTWARE

PARATIE PLUS è un ambiente grafico interattivo progettato per consentire il calcolo di opere di sostegno flessibili e, più in generale, per lo studio di diverse problematiche di Ingegneria Geotecnica correlate alla progettazione di scavi a cielo aperto.

Con PARATIE PLUS si può:

- definire la geometria bidimensionale del problema
- assegnare le proprietà dei materiali (terreni, materiali strutturali, ecc.)
- calcolare le strutture che sostengono i fronti di scavo per mezzo del solutore PARATIE, un modellatore numerico che permette un'analisi d'interazione tra parete e terreno basata su uno schema monodimensionale (subgrade reaction method)
- condurre lo studio di moti di filtrazione, limitatamente ad alcune tipologie ricorrenti di problemi geotecnici, e con l'obiettivo prevalente di stimare le pressioni interstiziali sulle opere di sostegno
- verificare gli elementi strutturali (pareti, puntoni, tiranti ecc.) secondo diverse Normative
- analizzare la stabilità dei fronti di scavo, con metodi di calcolo all'equilibrio limite
- condurre diverse altre verifiche di dettaglio (ad esempio la verifica di tiranti)
- produrre un report di calcolo.

Nel caso specifico simula il problema di uno scavo sostenuto da l'elemento "parete" e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU5800001</b>	REV. <b>B</b>

## 12 VERIFICA DELLE OPERE

### 12.1 Paratia tipo X

Sono state verificate le seguenti sezioni:

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

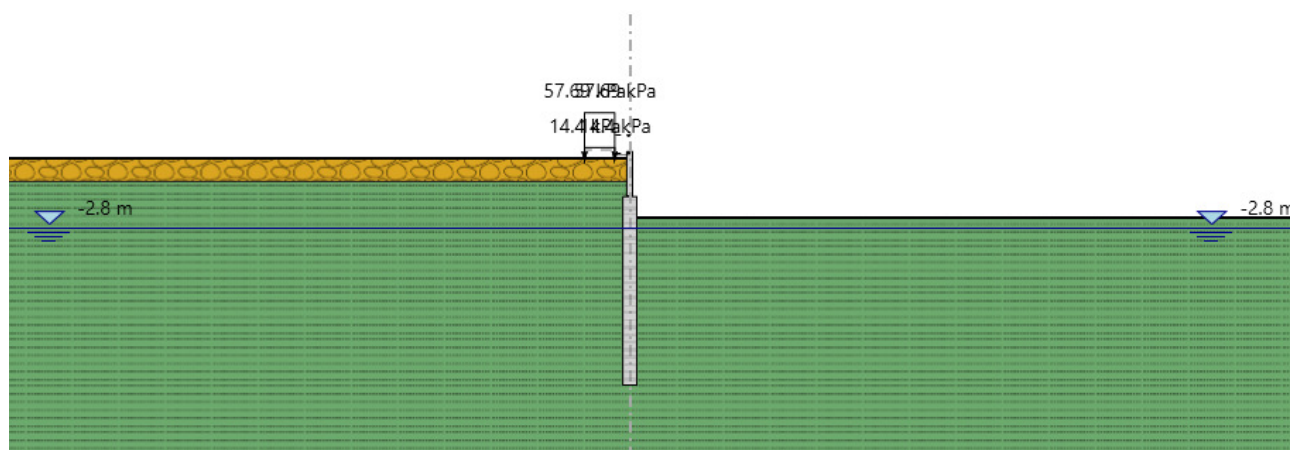


Figura 3. Schema di calcolo paratia

Tabella 2. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 1200$ ad interasse 1.30 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 15.00\text{m}$
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 1.35\text{m}$
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 1.85\text{m}$
Inclinazione del piano campagna a monte	$0^\circ$
Inclinazione del piano campagna a valle	$0^\circ$
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 14.40 \text{ kPa}$
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0 \text{ kPa}$
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 57.69 \text{ kPa}$
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0 \text{ kPa}$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>  <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>  <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b>  <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b></p>												
<p>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>18 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	18 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	18 di 51								

## Analisi dei carichi:

### CARICHI PERMANENTI

#### Sovrastruttura ferroviaria

Il manuale di progettazione ove non si eseguano valutazioni più dettagliate prevede per la determinazione dei carichi permanenti portati relativi al peso della massicciata e dell'armamento (sovrastuttura ferroviaria) che potrà effettuarsi assumendo, convenzionalmente, un peso di volume pari a 18,0 kN/m<sup>3</sup> applicato sull'impronta del ballast, per una altezza media fra il piano del ferro (P.F.) e l'estradosso del sub-ballast pari a 0,80 m (al carico è stato poi applicato un coefficiente parziale di sicurezza pari a 1,5).

$$p = 18.0 \text{ kN/m}^3 \times 0.80 \text{ m} = 14.40 \text{ kPa}$$

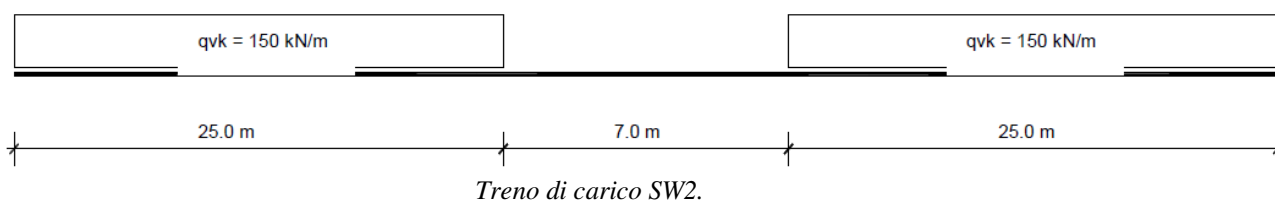
### CARICHI VARIABILI

#### Carichi mobili da traffico ferroviario

Le azioni variabili su opere di sostegno sono definite dal par. 3.5.2.3.4 del Manuale di progettazione Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale.

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il carico verticale dovuto al treno di carico SW2 uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano campagna. Il treno di carico SW2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Il treno di carico SW2 è schematizzato nella figura seguente.



Per la ripartizione si considera

$$B_t = 2.40 \text{ m} + 2 \times 0.40 \text{ m} = 2.60 \text{ m}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente  $\alpha$  che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Figura 0-1 – Coefficienti  $\alpha$  per modelli di carico.

Il valore considerato di carico distribuito, risulta dunque:

$$Q = 150 \text{ kN} \quad q_{var} = (150/2.60) * 1.0 = 57.69 \text{ kN/m}^2$$

Tabella 3. Parametri geotecnici di calcolo

Terreno	$z_f$	$\gamma$	$c'$	$\varphi$	$E$	$c_u$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[kPa]
<i>c</i>	2	19	2.5	20	15	-
<i>TRV</i>	-	21	22.5	20	100	200

Tabella 4. Parametri per l'analisi sismica

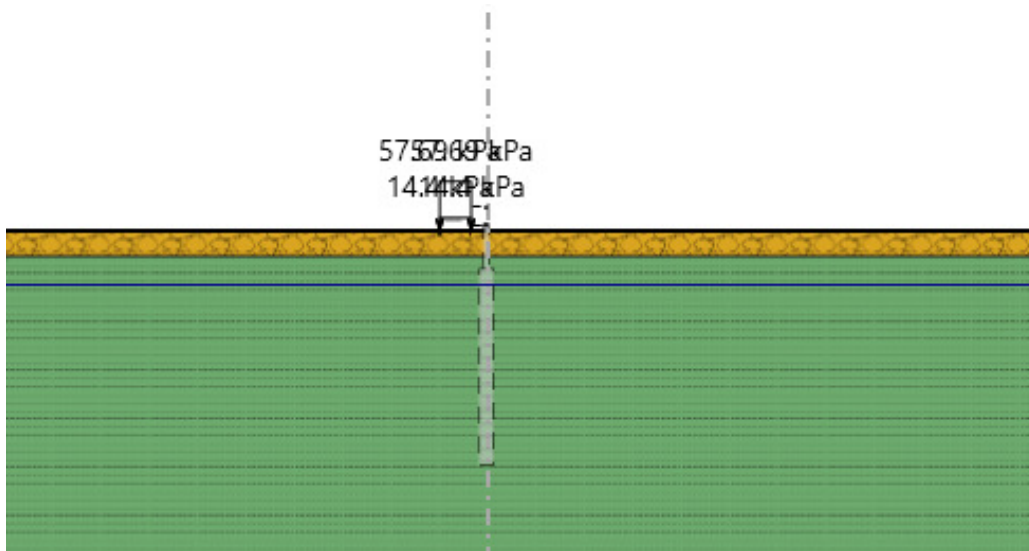
Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	$a_g(g)$	$S$	$a_{max/g}$	$u_s$	$\theta$
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
<i>c</i>	SLV	C	T1	0.099	1.2	0.149	0.1	0.52
<i>TRV</i>	SLV	C	T1	0.099	1.2	0.149	0.1	0.52

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

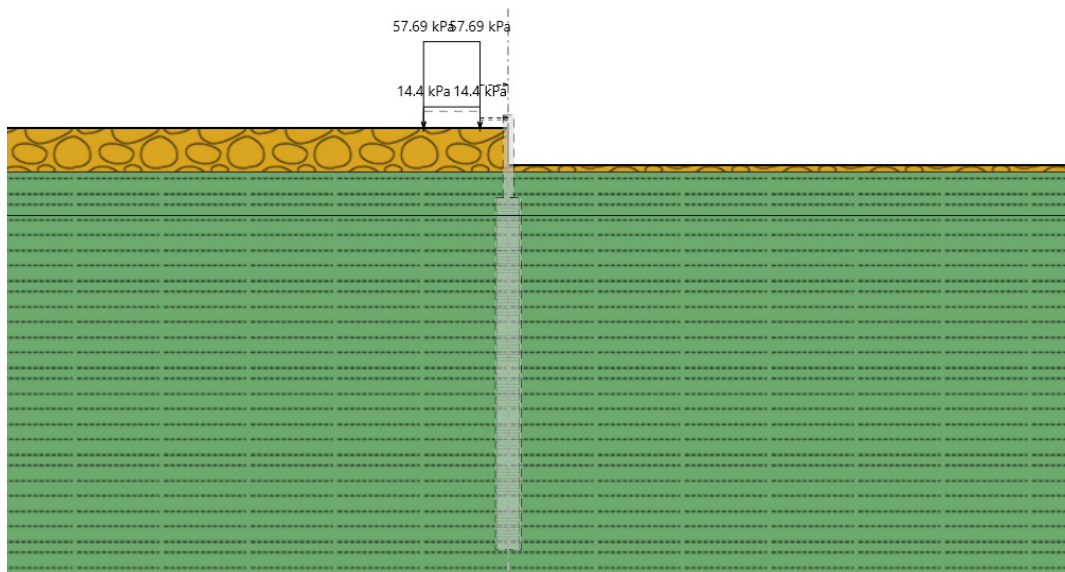
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	20 di 51


### Fasi di calcolo

- 1) Geostatico e carico del versante a monte della paratia di pali, quota di falda a 4.00m dal p.c.

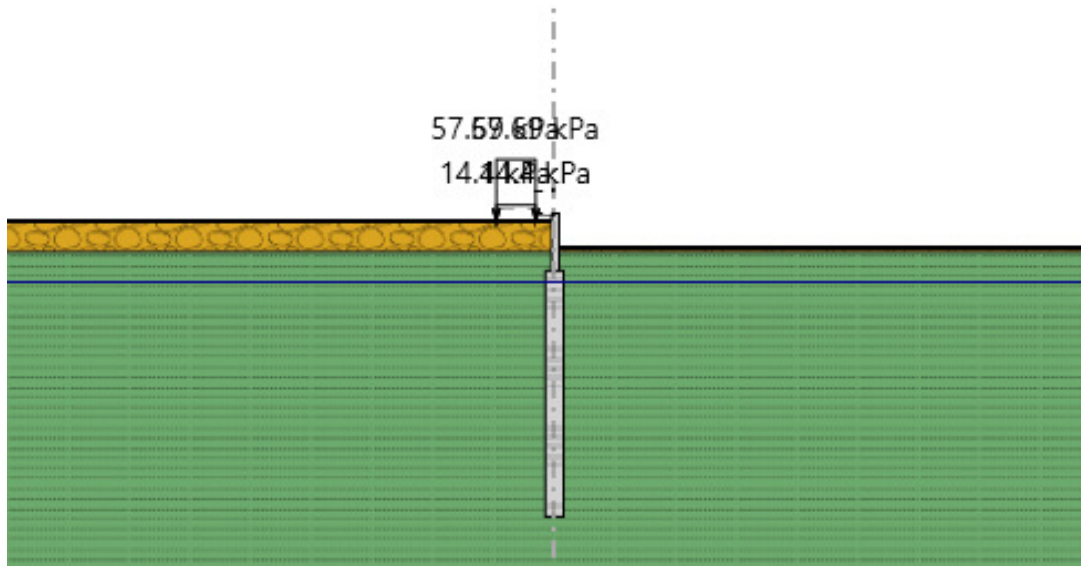


- 2) Prescavo



 <p><b>ITALFERR</b> 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>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>21 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	21 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	21 di 51								

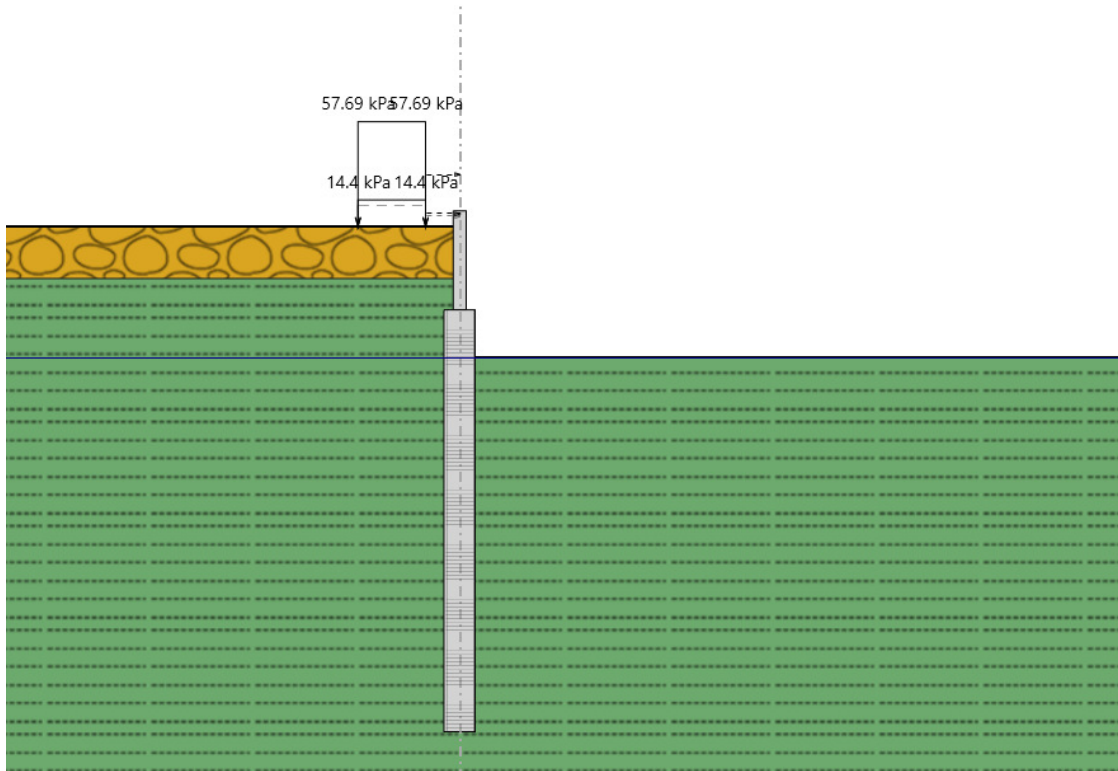
3) Inserimento della paratia di pali




4) Ribasso ulteriore al fine di raggiungere la “Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)”, posizione della falda a monte a  $z=-4\text{m}$  dal p.c., posizione della falda a valle sotto quota piano di scavo.

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	22 di 51





 <p><b>ITALFERR</b> 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>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>23 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	23 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	23 di 51								

### 12.1.1.1 Sintesi dei risultati

I risultati delle analisi sono di seguito descritti in sintesi ed illustrati in maggior dettaglio nell'allegato di calcolo pertinente.

#### 1) Deformata paratia SLE

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

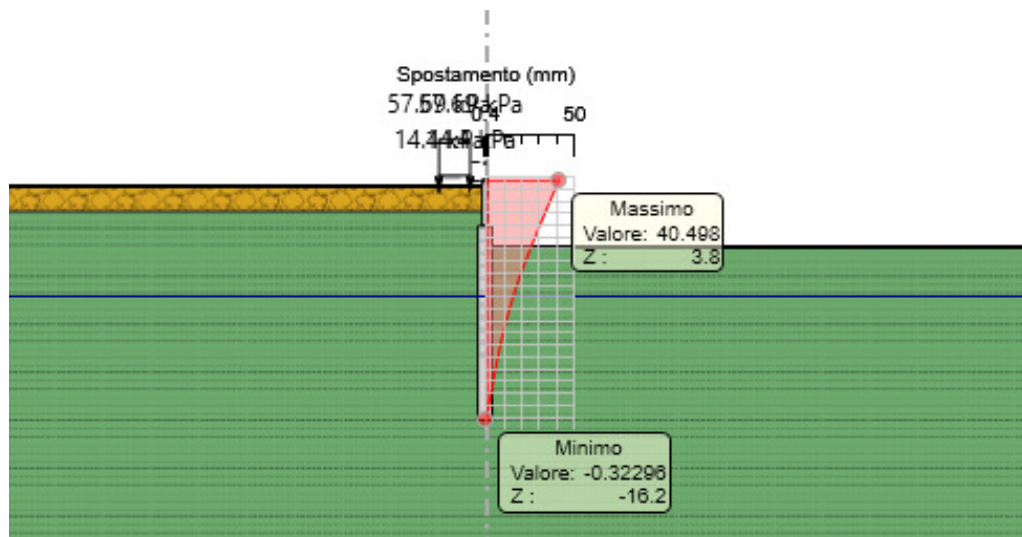



Figura 2. Deformata paratia SLE

La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU5800001</b>	REV. <b>B</b>

2) Momento di involucro SLU

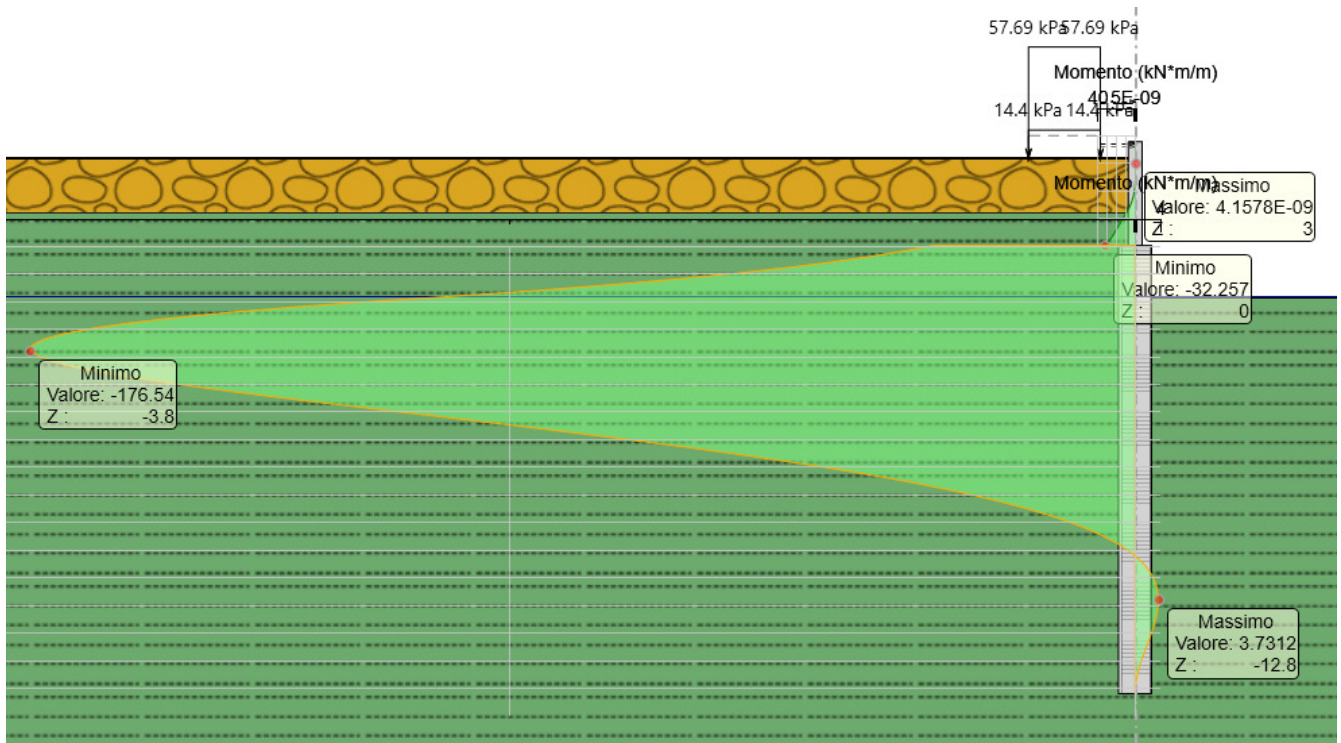


Figura 3. Momento di involucro SLU

3) Taglio di involucro SLU

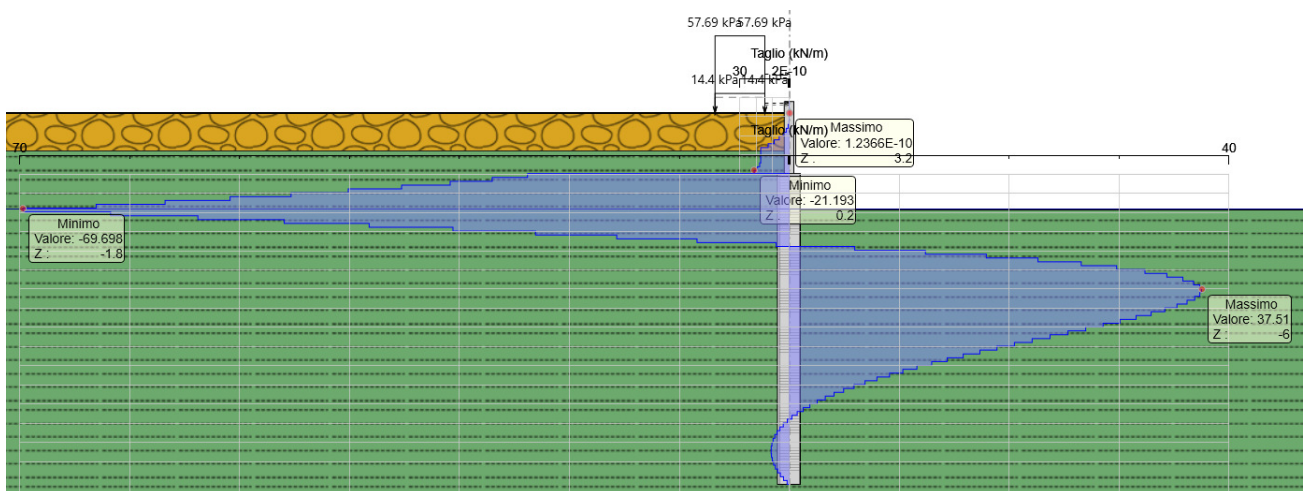


Figura 4. Taglio di involucro SLU

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	25 di 51

4) Coefficiente di sfruttamento del momento e del taglio

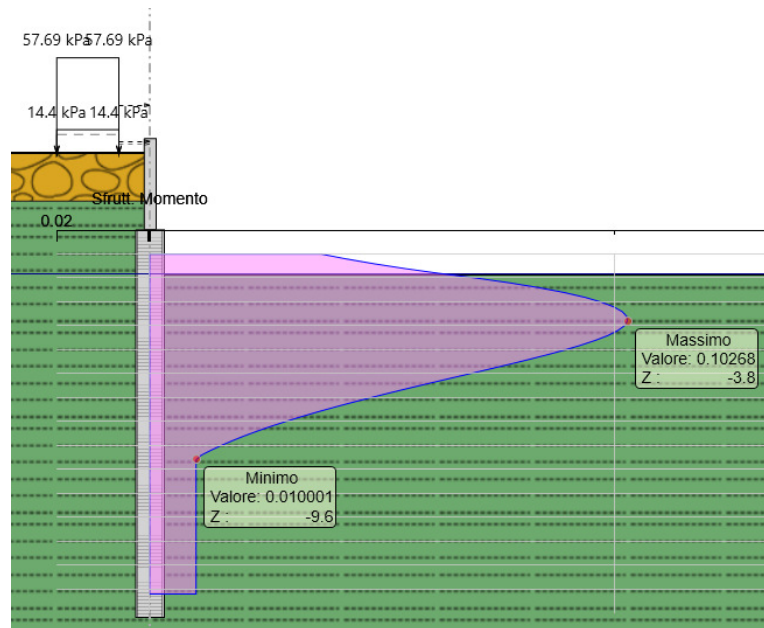


Figura 5. Coefficiente di sfruttamento del momento

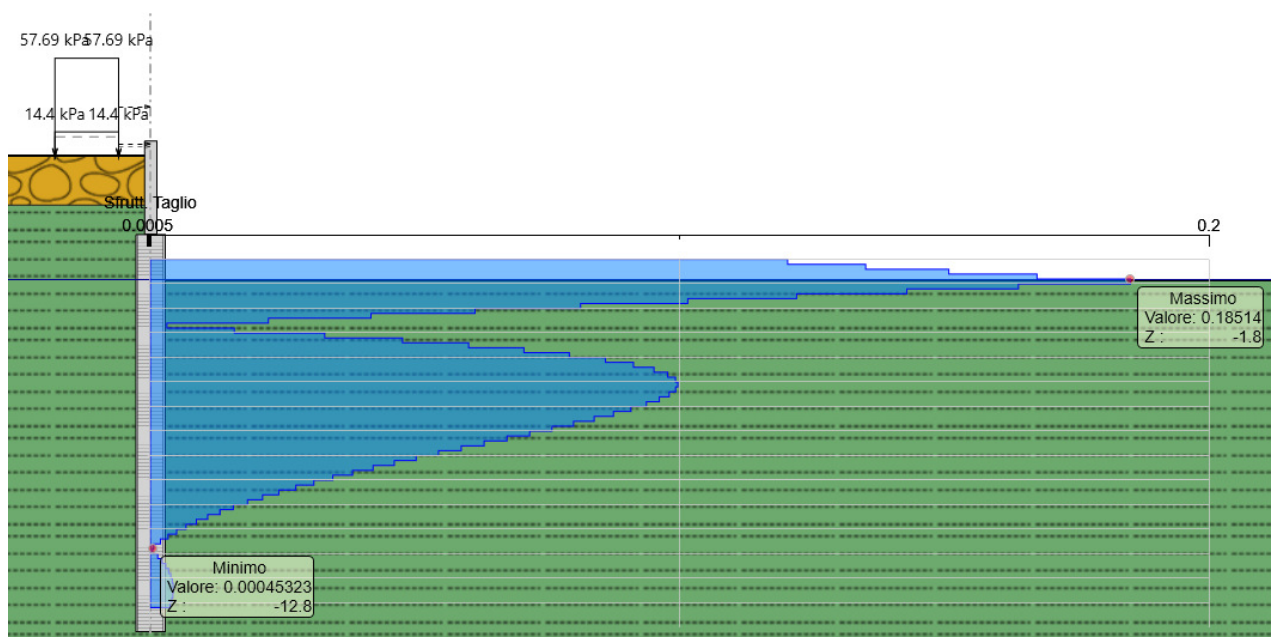



Figura 6. Coefficiente di sfruttamento del taglio

 <p><b>ITALFERR</b> 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>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>26 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	26 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	26 di 51								

### 12.1.1.2 Stabilità geotecnica della paratia

Nella seguente figura si riporta il riepilogo delle risultanti delle spinte in corrispondenza dell'altezza massima altezza di scavo

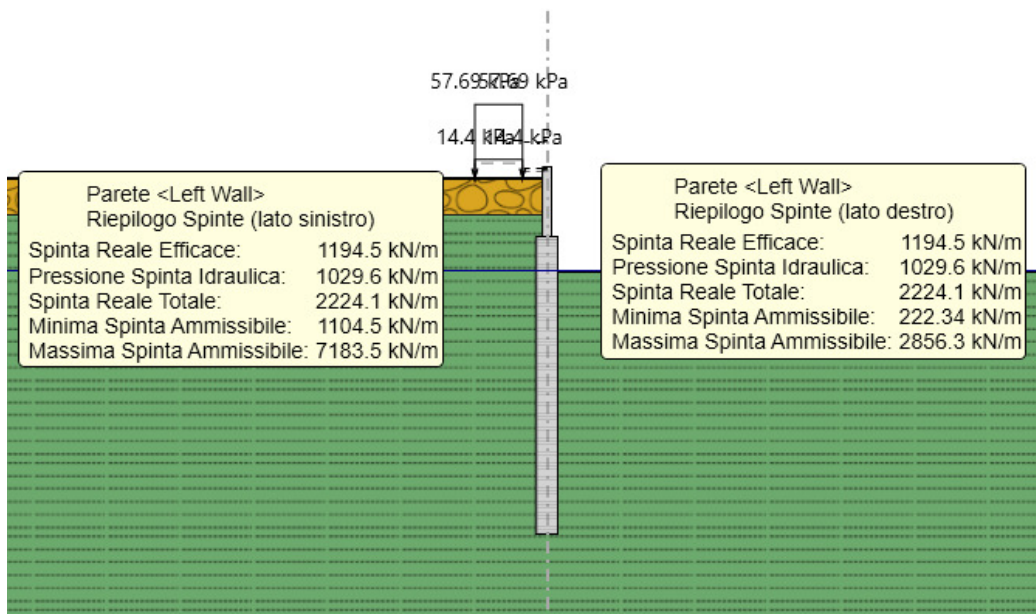
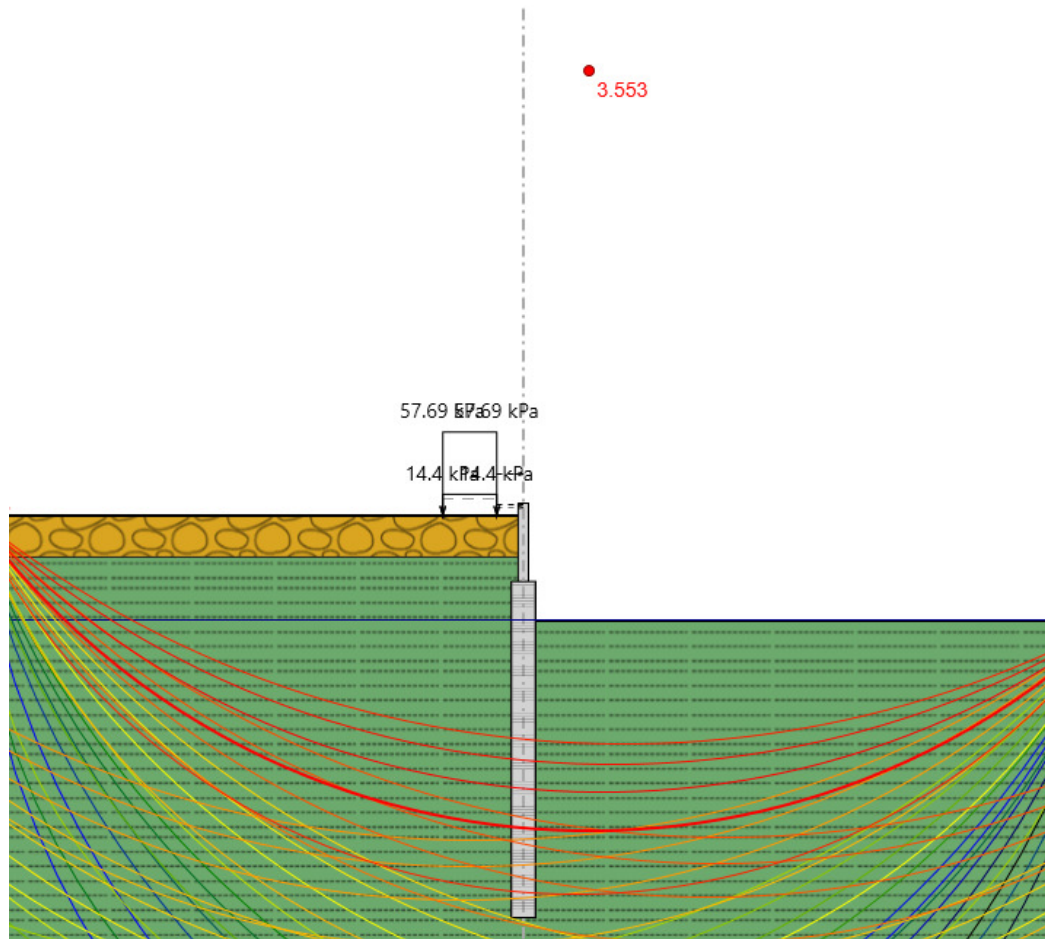


Figura 7. Spinte in corrispondenza dell'altezza massima di scavo

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	27 di 51

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

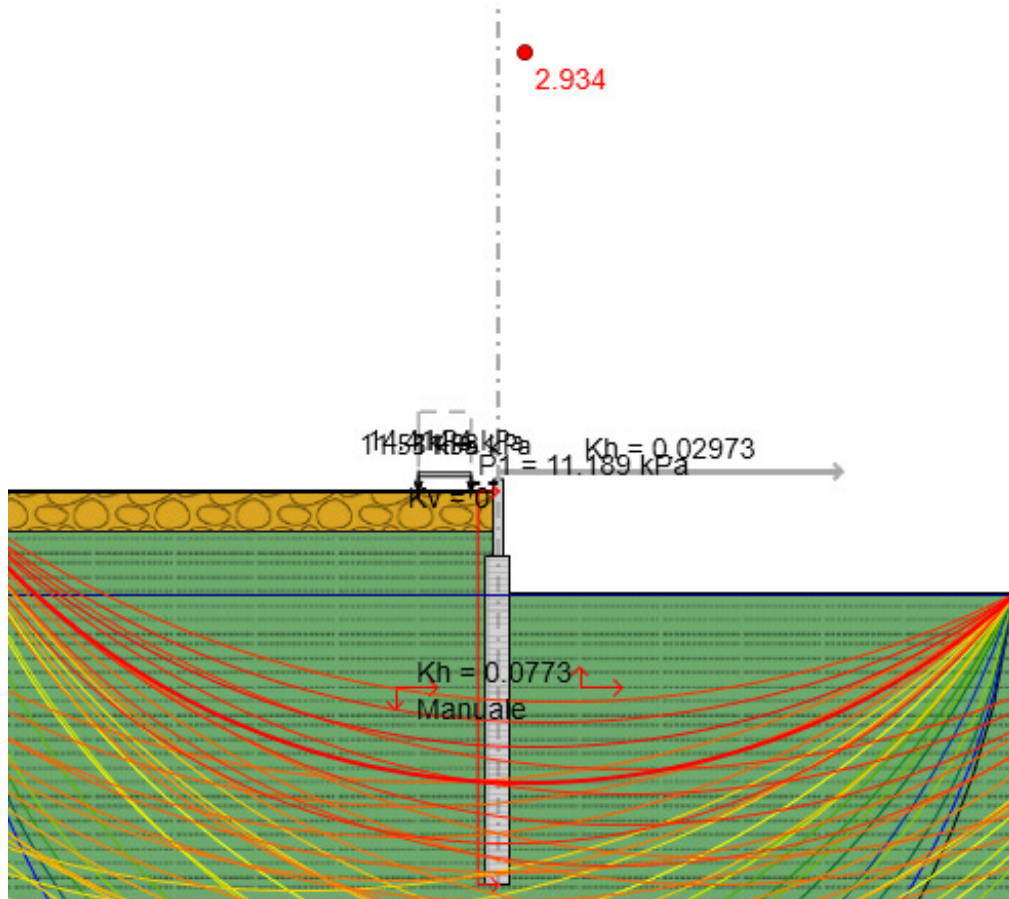


FS=3.553

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	28 di 51

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



FS=2.934

 <p><b>ITALFERR</b> 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>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>29 di 51</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	29 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	29 di 51								

## 5) Verifiche SLU STR

- Verifica del palo in c.a.

Nel seguito si mostrano le combinazioni di azioni con cui sono state eseguite le verifiche del palo in c.a., avente diametro 1200 mm, passo 1.3 m, armato con 1 ordine di 20 barre di diametro 26 mm con copriferro di 85mm.

COMBINAZIONI GABBIA 1 (a palo)			
	<b>Mmax</b>	<b>Tmax</b>	<b>Nmax</b>
	KN	KN	KN
<b>SLU</b>	229.5	7.7	73.5
<b>SLU</b>	138.9	90.6	17.0
<b>SLV</b>	474.5	7.5	84.8
<b>SLV</b>	314.1	130.7	17.0
<b>SLE</b>	160.4	64.4	67.9

Tabella 5. Combinazioni di sollecitazioni agenti sul palo in c.a.

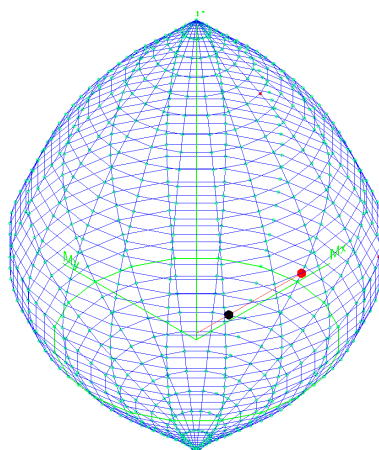


Figura 8. Dominio M-N in condizioni statiche

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	30 di 51

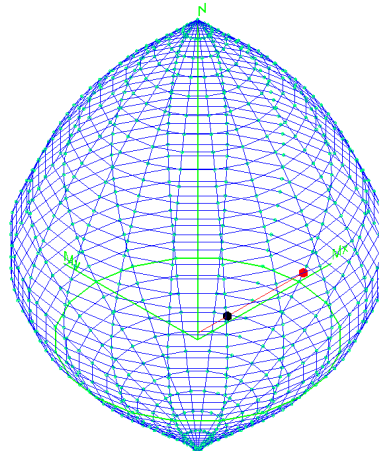


Figura 9. Dominio M-N in condizioni sismiche

**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
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
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 <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80	daN/cm <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	26.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**



RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	31 di 51

 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 circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonfer. 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	26

### ARMATURE A TAGLIO

 Diametro staffe: 16 mm  
 Passo staffe: 24.9 cm  
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

### 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	7351	22950	0	775	0
2	1696	13893	0	9060	0
3	8482	47453	0	753	0
4	1696	31415	0	13066	0

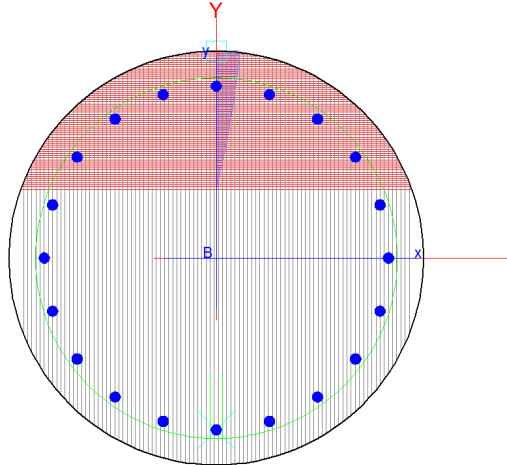
### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

 Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.4 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 5.6 cm

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	32 di 51


**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  
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm<sup>2</sup>]. [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	7351	22950	0	7328	106330	0	4.63	106.2(23.6)
2	S	1696	13893	0	1716	104824	0	7.55	106.2(23.6)
3	S	8482	47453	0	8479	106638	0	2.25	106.2(23.6)
4	S	1696	31415	0	1716	104824	0	3.34	106.2(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	0.00112	0.0	50.0	0.00084	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
2	0.00110	0.0	50.0	0.00082	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
3	0.00113	0.0	50.0	0.00084	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
4	0.00110	0.0	50.0	0.00082	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU5800001</b>	REV. <b>B</b>

#### 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	0.000033644	-0.000560259	----	----
2	0.000000000	0.000033431	-0.000569131	----	----
3	0.000000000	0.000033688	-0.000558452	----	----
4	0.000000000	0.000033431	-0.000569131	----	----

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

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	600	mm				
c	85	mm				
rs	515	mm				
$\alpha$	0.58	rad				
Atot	1130973	mm <sup>2</sup>				
A	938352	mm <sup>2</sup>				
h	1118.3	mm	Rck	30		
d	927.9	mm	fck	24.9		
bw	1011.3	mm	$\gamma_c$	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.464			N.ro		area_ferro
k	1.464		As	10	$\phi$	26.0
Asl	5309	mm <sup>2</sup>				
Asl/(bw·d)	0.006					
$\rho_1$	0.006		Vrd	398.2	kN	
vmin	0.309		Ved	91	KN	
vmin·bw·d	290380	N	Vrd/Ved	4.40	-	
Vrd	398223	N				
Non necessita di armatura a taglio						

Tabella 6. Verifica a taglio in condizioni statiche

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B

VERIFICA A TAGLIO - SLV						
r	600	mm				
c	85	mm				
rs	515	mm				
$\alpha$	0.58	rad				
Atot	1130973	mm <sup>2</sup>				
A	938352	mm <sup>2</sup>				
h	1118.3	mm	Rck	30		
d	927.9	mm	fck	24.9		
bw	1011.3	mm	$\gamma_c$	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.464			N.ro		area_ferro
k	1.464		As	10	$\phi$	20.0
Asl	3142	mm <sup>2</sup>				
Asl/(bw·d)	0.003					
$\rho_1$	0.003		Vrd	334.3	kN	
vmin	0.309		Ved	131	KN	
vmin·bw·d	290380	N	Vrd/Ved	2.56	-	
Vrd	334321	N				
Non necessita di armatura a taglio						

Tabella 7. Verifica a taglio in condizioni sismiche

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

- Verifica apertura delle fessure:

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente [NTC – Tabella 4.1.IV]:

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>												
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	<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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>35 di 51</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	35 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	35 di 51								

		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella 8 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando  $w_1 = 0.2 \text{ mm}$   $w_2 = 0.3 \text{ mm}$   $w_3 = 0.4 \text{ mm}$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si aggiungono in tal caso quelle fornite dal “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 14.1.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l’apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\text{Combinazione Caratteristica (Rara)} \quad \delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	6786	14803	0

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm <sup>2</sup> ]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	36 di 51

Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	19.7	0.0	0.0	-475	0.0	-41.5	1240	26.5

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
 Esito della verifica  
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
 Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00027	0	0.500	26.0	72	0.00014 (0.00014)	451	0.064 (0.20)	34777	0

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU5800001</b>	REV. <b>B</b>

## 12.2 Paratia X a ridosso della spalla del Viadotto VI53

Sono di seguito descritti il modello geotecnico e le principali caratteristiche dell'opera strutturale adottate nelle analisi di verifica. Si noti come la vita di riferimento dell'opera

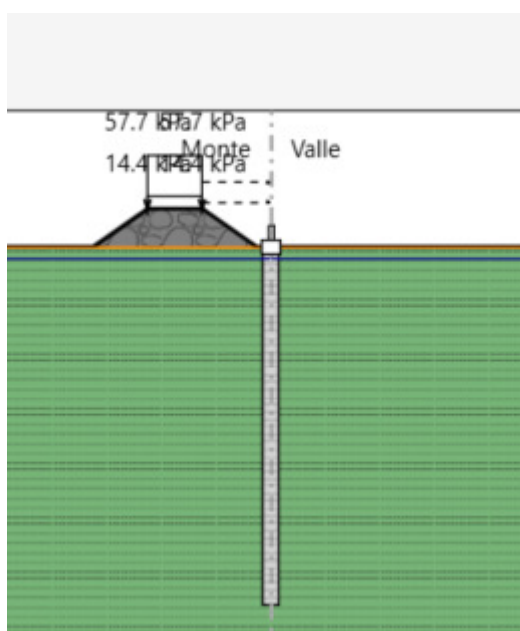


Figura 10. Schema di calcolo paratia

Tabella 9. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 1200$ ad interasse 1.30 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 55.00\text{m}$
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 8.0\text{ m}$
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 8.50\text{m}$
Inclinazione del piano campagna a monte	$0^\circ$
Inclinazione del piano campagna a valle	$0^\circ$
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 14.40\text{ kPa}$
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0\text{ kPa}$
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 57.7\text{ kPa}$
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0\text{ kPa}$

 <p><b>ITALFERR</b> 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>RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO</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>40 D 29</td> <td>CL</td> <td>MU5800001</td> <td>B</td> <td>38 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	38 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	38 di 51								

### 12.2.1 Analisi dei carichi

#### CARICHI PERMANENTI

##### Sovrastruttura ferroviaria

Il manuale di progettazione ove non si eseguano valutazioni più dettagliate prevede per la determinazione dei carichi permanenti portati relativi al peso della massicciata e dell'armamento (sovrastuttura ferroviaria) che potrà effettuarsi assumendo, convenzionalmente, un peso di volume pari a 18,0 kN/m<sup>3</sup> applicato sull'impronta del ballast, per una altezza media fra il piano del ferro (P.F.) e l'estradosso del sub-ballast pari a 0,80 m (al carico è stato poi applicato un coefficiente parziale di sicurezza pari a 1,5).

$$p = 18.0 \text{ kN/m}^3 \times 0.80 \text{ m} = 14.40 \text{ kPa}$$

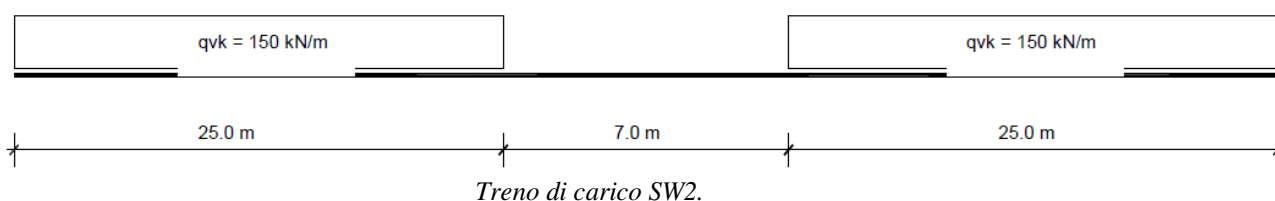
#### CARICHI VARIABILI

##### Carichi mobili da traffico ferroviario

Le azioni variabili su opere di sostegno sono definite dal par. 3.5.2.3.4 del Manuale di progettazione Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale.

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il carico verticale dovuto al treno di carico SW2 uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano campagna. Il treno di carico SW2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Il treno di carico SW2 è schematizzato nella figura seguente.



Per la ripartizione si considera

$$B_t = 2.40 \text{ m} + 2 \times 0.40 \text{ m} = 2.60 \text{ m}$$



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente  $\alpha$  che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " $\alpha$ "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Coefficienti  $\alpha$  per modelli di carico

Il valore considerato di carico distribuito, risulta dunque:

$$Q = 150 \text{ kN} \quad q_{var} = (150/2.60) * 1.0 = 57.69 \text{ kN/m}^2$$

**Tabella 10. Parametri geotecnici di calcolo**

<i>Terreno</i>	$z_f$	$\gamma$	$c'$	$\varphi$	$E$	$c_u$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[kPa]
<i>c</i>	2	19	2.5	20	15	-
<i>TRV</i>	-	21	22.5	20	100	200

**Tabella 11. Parametri per l'analisi sismica**

<i>Terreno</i>	<i>Condizione</i>	<i>Categoria sottosuolo</i>	<i>Categoria topografica</i>	$a_g(g)$	$S$	$a_{max}/g$	$u_s$	$\theta$
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
<i>c</i>	<i>SLV</i>	<i>C</i>	<i>T1</i>	0.099	1.2	0.149	0.1	0.52
<i>TRV</i>	<i>SLV</i>	<i>C</i>	<i>T1</i>	0.099	1.2	0.149	0.1	0.52

## Fasi di calcolo

- 1) Geostatico e carico a monte della paratia di pali costituito dal rilevato esistente della linea storica quota di falda a 0.80 m dal p.c.

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

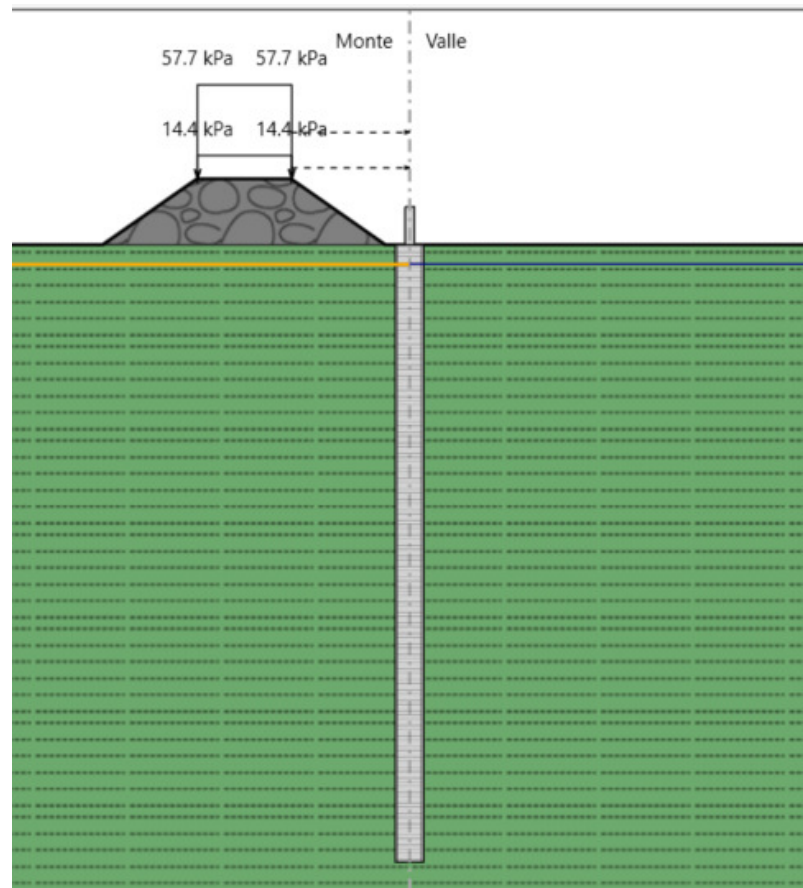
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	40 di 51



2) Inserimento della paratia di pali

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

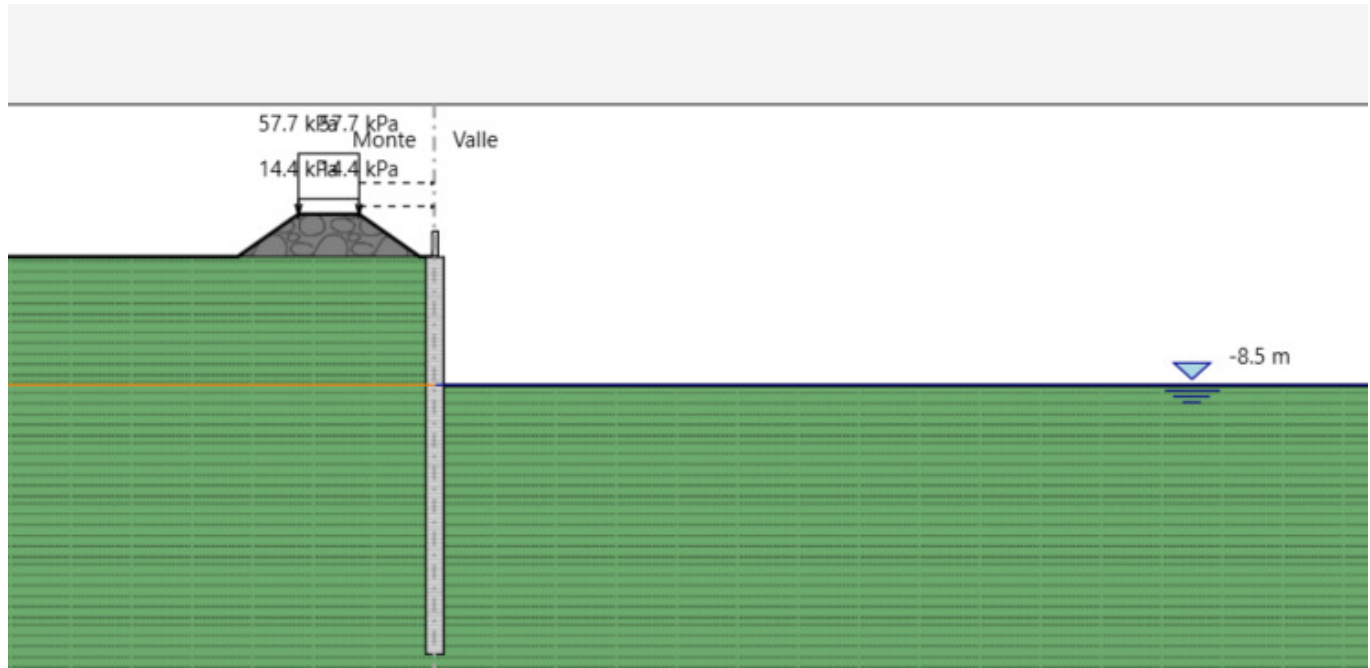
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	41 di 51



- 3) Ribasso ulteriore al fine di raggiungere la “Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)”, posizione della falda a monte a  $z=-8.5\text{m}$  dal p.c., posizione della falda a valle sotto quota piano di scavo.

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	42 di 51



- **Sintesi dei risultati**

I risultati delle analisi sono di seguito descritti in sintesi ed illustrati in maggior dettaglio nell'allegato di calcolo pertinente.

6) Deformata paratia SLE

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

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	43 di 51

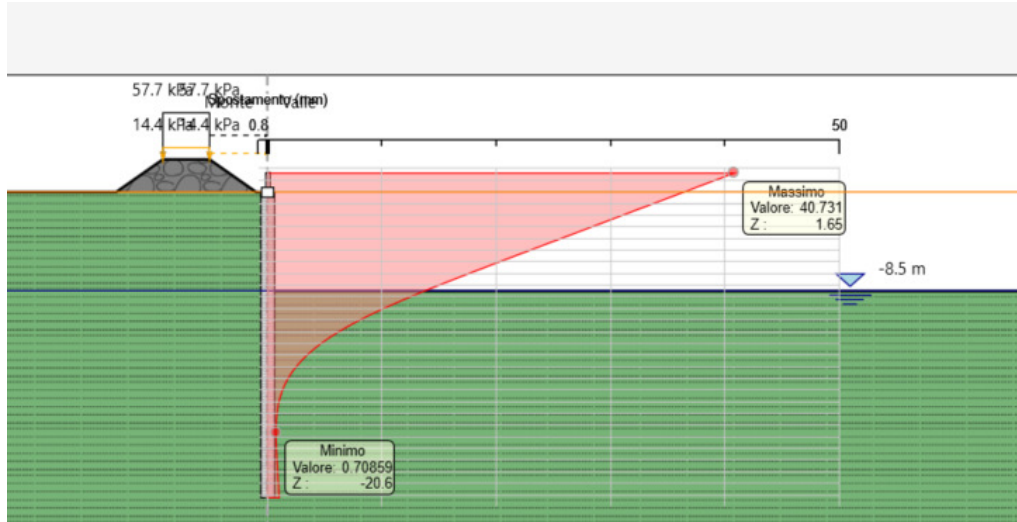


Figura 11. Deformata paratia SLE

La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

7) Momento di involuppo SLU

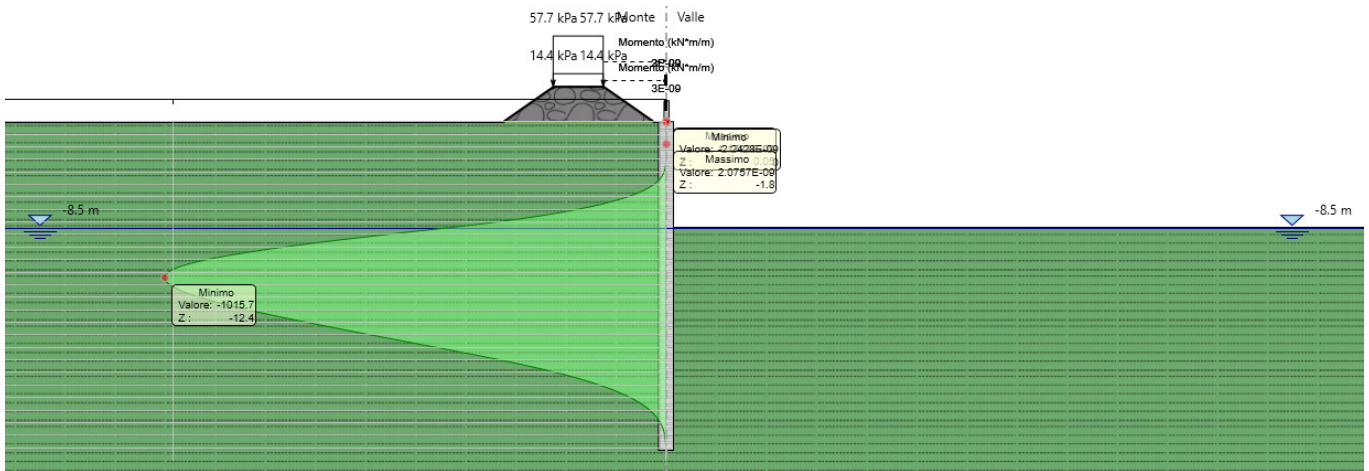


Figura 12. Momento di involuppo SLU

8) Taglio di involuppo SLU

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	44 di 51

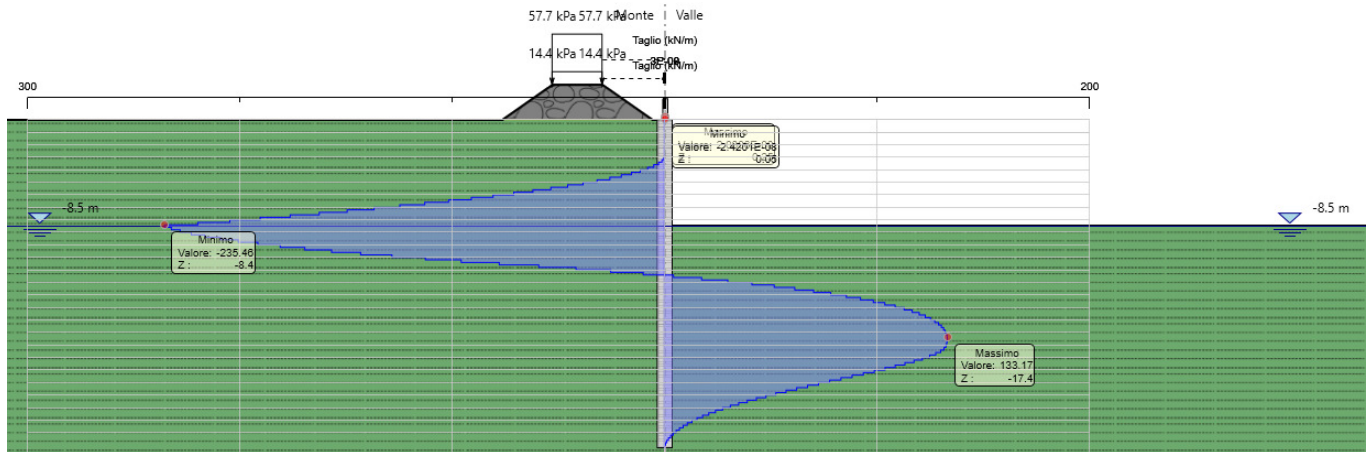


Figura 13. Taglio di involucro SLU

- **Stabilità geotecnica della paratia**

Nella seguente figura si riporta il riepilogo delle risultanti delle spinte in corrispondenza dell'altezza massima altezza di scavo

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	45 di 51

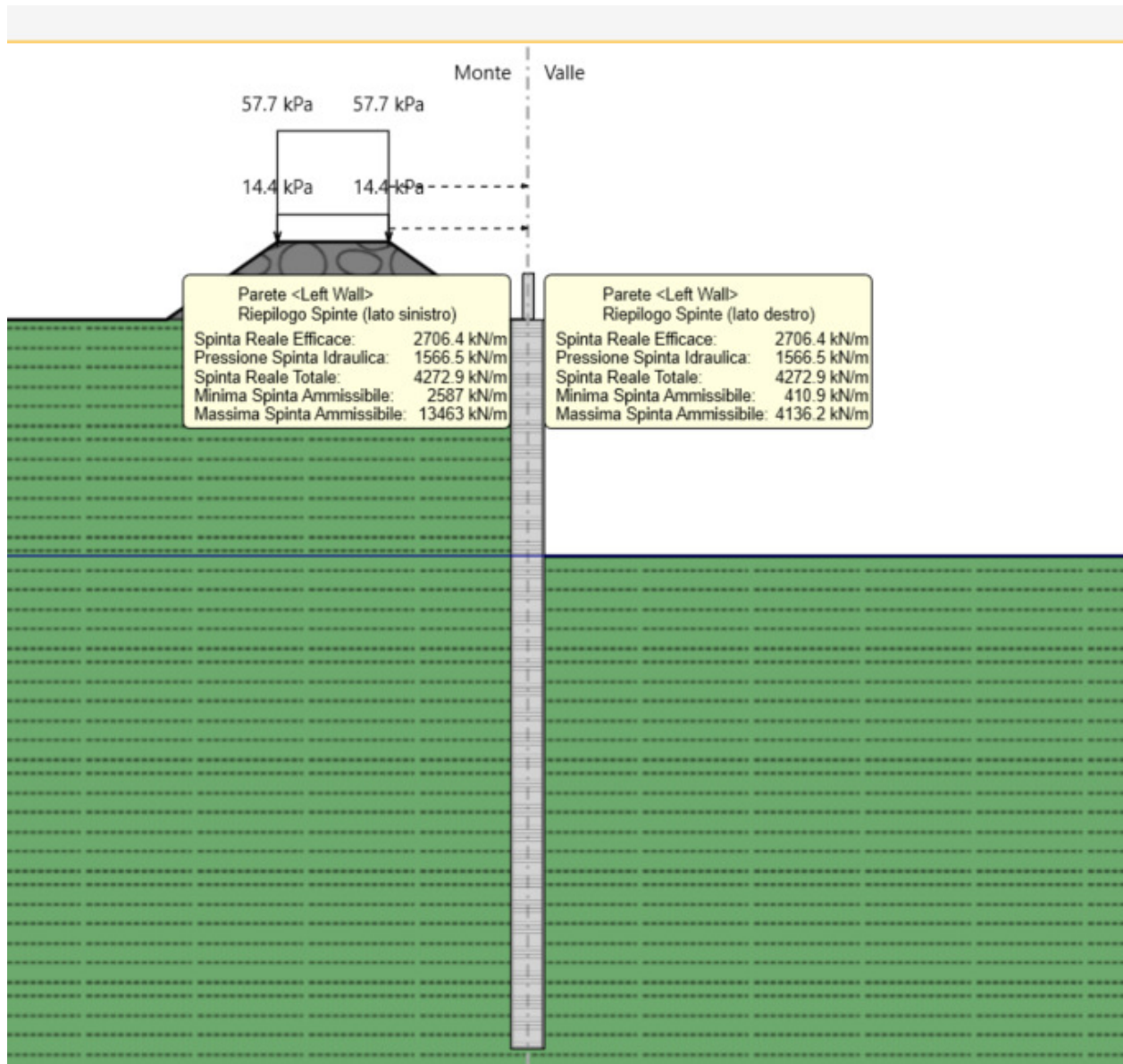
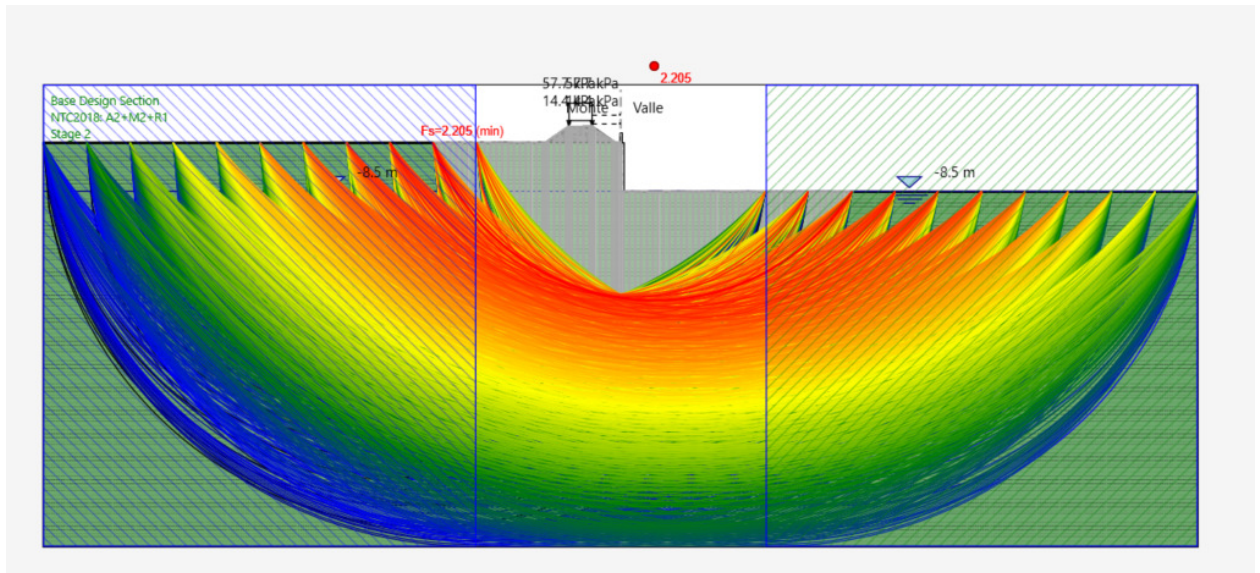


Figura 14. Spinte in corrispondenza dell'altezza massima di scavo

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	46 di 51

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



FS=2.205



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
	RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 29</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>MU5800001</b>	REV. <b>B</b>

## 9) Verifiche SLU STR

- Verifica del palo in c.a.

Nel seguito si mostrano le combinazioni di azioni con cui sono state eseguite le verifiche del palo in c.a., avente diametro 1200 mm, passo 1.3 m, armato con 1 ordine di 20 barre di diametro 26 mm con copriferro di 85mm.

COMBINAZIONI			
	<b>Mmax</b>	<b>Tmax</b>	<b>Nmax</b>
	KN	KN	KN
<b>SLU</b>	1320.4	12.9	316.7
<b>SLU</b>	556.9	306.1	203.6

Tabella 12. Combinazioni di sollecitazioni agenti sul palo in c.a.

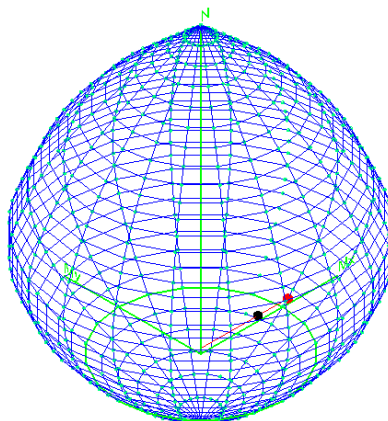


Figura 15. Dominio M-N in condizioni statiche

### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

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

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	48 di 51

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	141.60	daN/cm <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	25.60	daN/cm <sup>2</sup>
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Circolare  
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 60.0 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 circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate  
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. 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	51.5	20	26

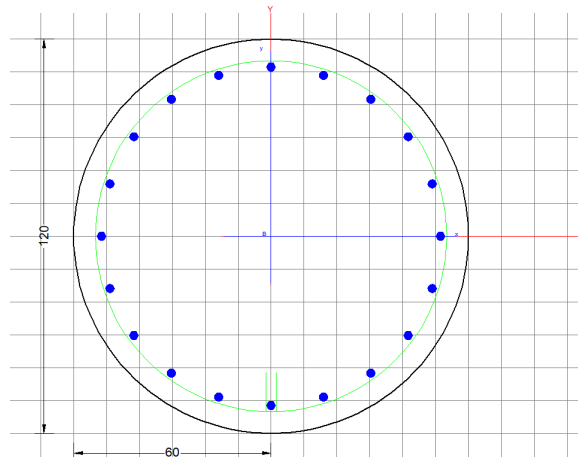
**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

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	31667	132041	0	0	0
2	20358	55687	0	0	0

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	49 di 51



### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 13.5 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

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  
 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	31667	132041	0	31672	201109	0	1.52	106.2(33.9)
2	S	20358	55687	0	20375	197149	0	3.54	106.2(33.9)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max 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
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU5800001	B	50 di 51

1	0.00350	0.0	60.0	0.00245	0.0	51.5	-0.01024	0.0	-51.5
2	0.00350	0.0	60.0	0.00243	0.0	51.5	-0.01059	0.0	-51.5

**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	0.000123261	-0.003895672	----	----
2	0.000000000	0.000126386	-0.004083138	----	----

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

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	600	mm				
c	85	mm				
rs	515	mm				
$\alpha$	0.58	rad				
Atot	1130973	mm <sup>2</sup>				
A	938352	mm <sup>2</sup>				
h	1118.3	mm	Rck	30		
d	927.9	mm	fck	24.9		
bw	1011.3	mm	$\gamma_c$	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.464			N.ro		area_ferro
k	1.464		As	10	$\phi$	26.0
Asl	5309	mm <sup>2</sup>				
Asl/(bw·d)	0.006					
$\rho_1$	0.006		Vrd	398.2	kN	
vmin	0.309		Ved	306	KN	
vmin·bw·d	290380	N	Vrd/Ved	1.30	-	
Vrd	398223	N				
Non necessita di armatura a taglio						

**Tabella 13. Verifica a taglio in condizioni statiche**

Nella tabella precedente si sono riportate le verifiche a taglio per sezioni non armate a taglio, le verifiche risultano soddisfatte in condizioni statiche, quindi non è necessario armare a taglio.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4/A)</b> <b>OPERE DI SOSTEGNO VARIANTE LINEA STORICA</b>					
RI54: Paratia di sostegno in dx MU58: RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU5800001	REV. B	FOGLIO 51 di 51

### 12.3 Incidenza paratia X

107	kg/m	Incidenza per unità di lunghezza
95	kg/m <sup>3</sup>	Incidenza per unità di volume di palo