

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 di linea
 RI10: Paratia di pali MU06
 Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 CL MU0600 001 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoli - Edin	Gen-2020	M.Arcangeli	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	F.Arduini
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoli - Edin	Feb-2020	M.Arcangeli	Feb-2020	A.Barreca	Feb-2020	0 Orlino degli Ingegneri e Architetti di Roma ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Direttore: Fabrizio Arduini Data: 29/04/2020
C	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoli - Edin	Apr-2020	M.Arcangeli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	
C	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoli - Edin		M.Arcangeli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
4	ALLEGATI.....	8
5	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
6	MATERIALI.....	9
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	10
8	FASE CONOSCITIVA.....	10
8.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	11
8.2	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	11
8.2.1	<i>Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi</i>	<i>11</i>
8.2.2	<i>Il regime idraulico</i>	<i>11</i>
8.3	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	11
9	SOLUZIONI PROGETTUALI	14
9.1.1	<i>Opere di sostegno - paratie</i>	<i>14</i>
10	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	15
11	CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE – PARATIE	16
11.1	OPERE DI SOSTEGNO	16
11.1.1	<i>Azioni.....</i>	<i>16</i>
11.1.2	<i>Combinazioni di calcolo e approcci progettuali.....</i>	<i>16</i>
11.1.3	<i>Stabilità globale.....</i>	<i>18</i>
12	CRITERI DI CALCOLO DEL SOFTWARE	19
13	VERIFICA DELLE OPERE.....	20
13.1	OPERE DI SOSTEGNO – PARATIE.....	20

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	2 di 46

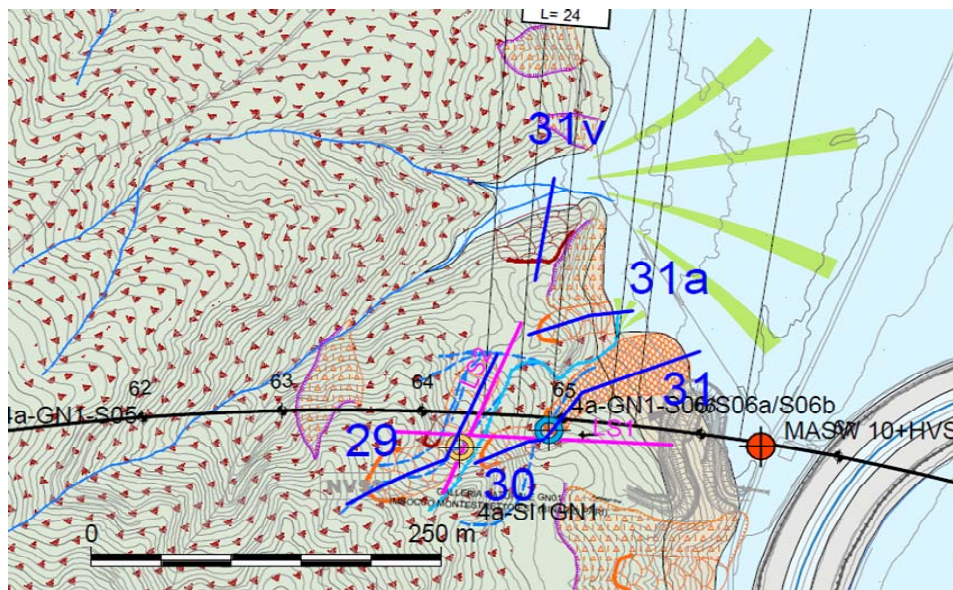
13.1.1 Paratia ϕ 1200 int. 1.30 m	21
CARICHI PERMANENTI	22
<i>Sovrastruttura ferroviaria</i>	22
CARICHI VARIABILI	22
<i>Carichi mobili da traffico ferroviario</i>	22
13.1.1.1 Sintesi dei risultati	27
13.1.1.2 Stabilità geotecnica della paratia	32
13.1.1.3 Verifica del cordolo	43
13.2 INCIDENZA PARATIA	46

1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo della direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo, nuovo collegamento Palermo-Catania tratta Caltanissetta Xirbi – Enna (Lotto 4a).

In particolare tale opera interessa un tratto di circa 60 metri, soggetto a fenomeno franoso derivante dalla combinazione di movimento rotazionale e colamento veloce. Per dettagli si rimanda all'elaborato "Relazione di calcolo versanti in frana" (R3SU40D29RHGE0000004).

Stralcio cartografico



Estratto della carta geologico-geomorfologica: in blu la traccia della sezione geologica riportata nella pagina seguente. Per la legenda si rimanda alla carta.

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	4 di 46

Foto



panoramica: il dissesto è individuabile nell'area a sinistra nella foto. La presenza di un affioramento di substrato (sabbie da poco a mediamente cementate, appartenenti all'Unità di Terravecchia) testimonia la bassa profondità del dissesto.

Figura 1. Fonte: "Relazione di calcolo versanti in frana" (R3SU40D29RHGE0000004).

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	5 di 46

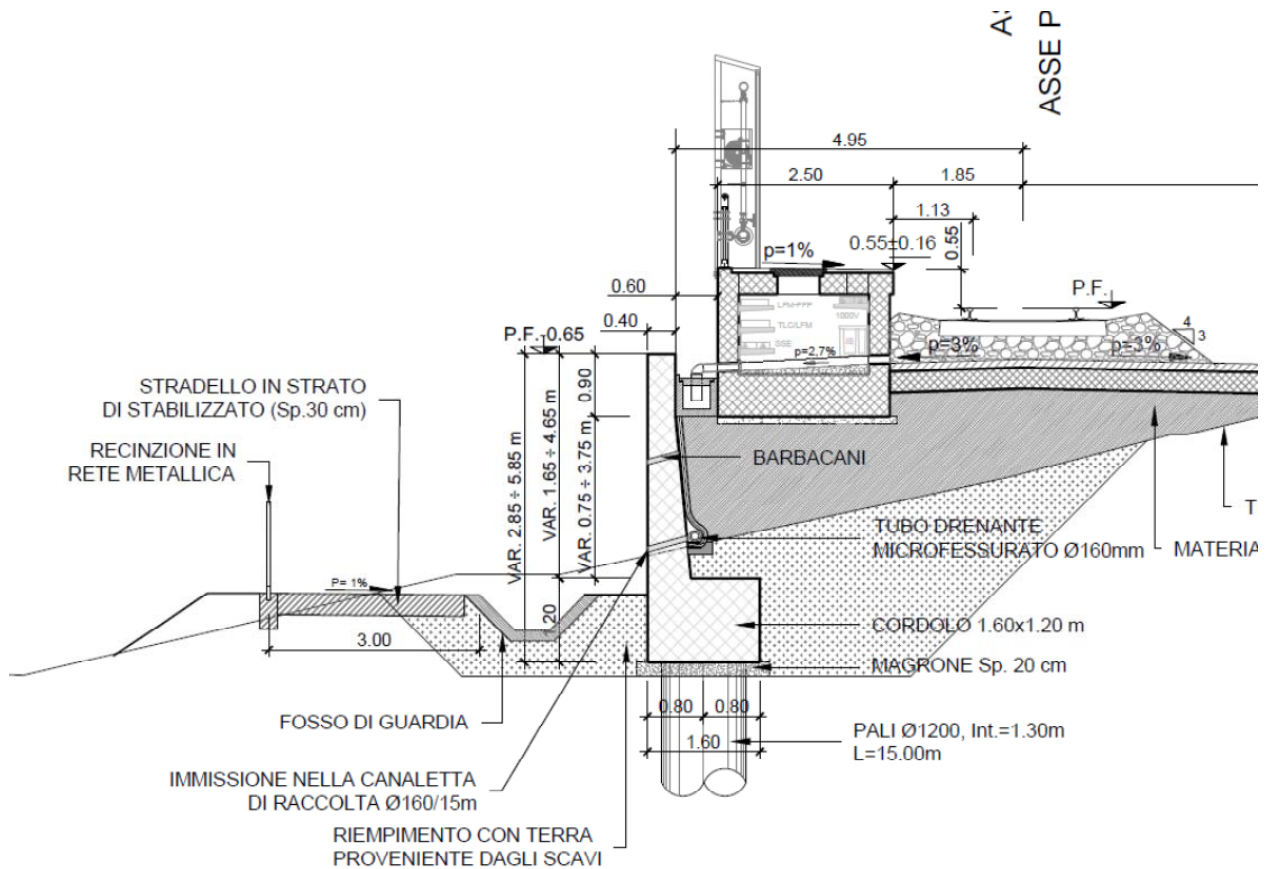


Figura 2. Foto da monte (sud) del tratto di versante in cui è presente il dissesto.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche della paratia definitiva MU06.

L'opera di sostegno in esame consiste in una paratia di pali trivellati con diametro nominale di 1200 mm ed interasse 1.3 m che si estende Km 6+492 al Km 6+534.



In accordo con la Normativa vigente, al fine di valutare i parametri di azione sismica dell'area, si utilizzano le seguenti coordinate: lat = 37.536262 e long.= 14.120849

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B	FOGLIO 7 di 46

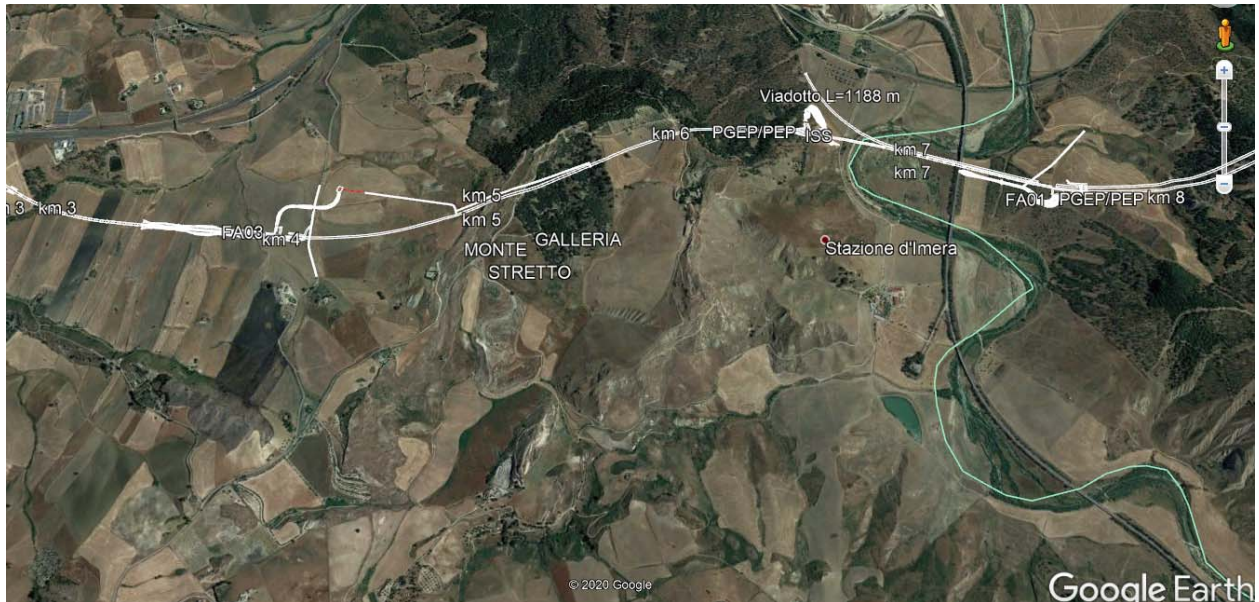


Figura 3. Posizione Geografica

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) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B	FOGLIO 8 di 46

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 ALLEGATI

Si rimanda ai seguenti elaborati grafici:

- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.06.0.0.001.B : Pianta, prospetto e sezioni

5 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

-
- DTC INC PO SP IFS 001 A - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sottobinario
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- EN 1992-1-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules of building
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture
- RFI DTC SI SP IFS 001 C - Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili
- EC08 – Eurocodice 8
- 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.

6 MATERIALI

Calcestruzzo per pali C25/30

Resistenza cubica caratteristica	Rck	=	30.0	N/mm ²
Modulo elastico	Ec	=	31447	N/mm ²
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 ²
Modulo elastico	Ec	=	34625	N/mm ²
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 ²
Tensione caratteristica di calcolo	fyd	≥	391.3	N/mm ²
Modulo di elasticità	Es	=	210000	N/mm ²

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

A partire dal piano campagna si incontrano le litologie delle coltri (C) e del Terravecchia: argille/ peliti/ (TRV).

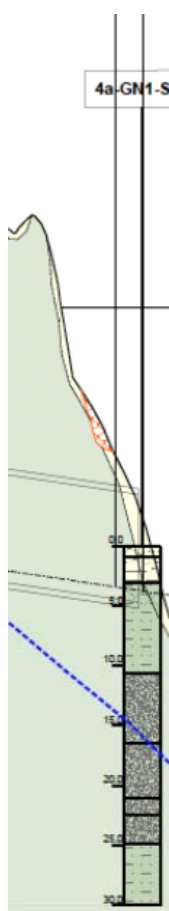


Figura 4. Profilo geologico

8 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

8.1 Inquadramento geologico

L'opera di sostegno viene realizzata all'interno della formazione della TRV , ovvero dell'alternanza argille peliti

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

-“RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE” (RS3U40D29GEGE000000C)

8.2 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.

8.2.1 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}	ϕ'_{M1}	ϕ'_{M2}
[-]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[°]	[°]
C	0-1	1	2.5	2.00	20	16.66
TRV	-	40	29.5	24.58	21	17.50

8.2.2 Il regime idraulico

Secondo quanto riportato sul profilo geologico, la falda di riferimento può essere posta a circa 1.5 m da piano campagna.

8.3 Caratteristiche del sito e definizione dell'azione sismica

Le opere in progetto interessano un sito con le seguenti coordinate geografiche: lat = 37.536262 e long.= 14.120849

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).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica, P_{VR} , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo V_R dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno T_R del sisma di progetto:

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

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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

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

	Km 6+492 - Km 6+534.	
	Strutture di sostegno	
Coord. geografiche	Latitudine: 37.536262	Longitudine: 14.120849
T_R	1068(SLV)	
$a_g(g)$	0.100	
F_0	2.636	
Categoria sottosuolo	C	
S_s	1.50	
Categoria topografica	1	
S_T	1.00	
a_{max}/g	0.150	

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B	FOGLIO 14 di 46

9 SOLUZIONI PROGETTUALI

9.1.1 Opere di sostegno - paratie

L' opera in progetto interessa un tratto che comprende:

- Una paratia realizzata con pali di diametro 1200mm e interasse pari a 1.30 m, soggetta a fenomeno franoso

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

10 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

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).	$\sigma_{lim} = 0.8 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

11 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]).

11.1 Opere di sostegno

11.1.1 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.

11.1.2 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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

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 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,
- 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. 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.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

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

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

11.1.3 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:

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</p>					
<p>RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU0600 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 19 di 46</p>

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.

12 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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B	FOGLIO 20 di 46

13 VERIFICA DELLE OPERE

13.1 Opere di sostegno – paratie

- Paratia tipo $\phi 1200$ int. 1.30 m

13.1.1 Paratia $\phi 1200$ int. 1.30 m

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

Si noti che a favore di sicurezza il modello riportato si riferisce alla sezione più critica ovvero quella che rispecchia il fenomeno franoso (citato in premessa) e altezza del paramento verticale massima del muro lungo tutto il tratto.

Inoltre il terreno in tratteggio a valle di tale paratia, sta a identificare un terreno con caratteristiche geotecniche scadenti (tabella 3).

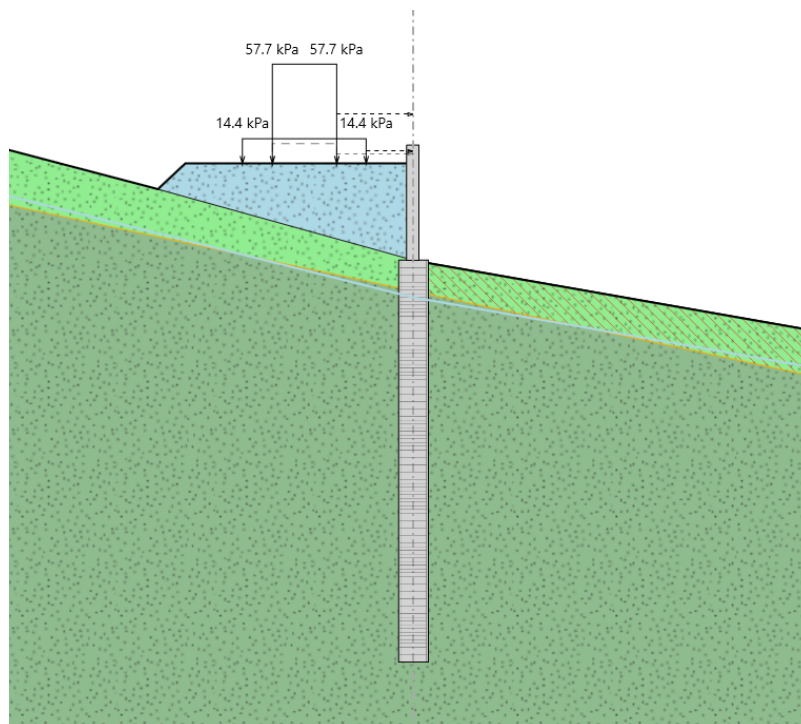


Figura 5. Schema di calcolo paratia

Tabella 2. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 1000$ ad interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 15.00$ m
Altezza max paramento verticale muro	$H_{tot} = 4.65$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	20° circa
Inclinazione del piano campagna a valle	-20°circa

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	$q = 0 \text{ kPa}$

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 $18,0 \text{ kN/m}^3$ applicato sull'impronta del ballast, per una altezza media fra il piano del ferro (P.F.) e l'estradosso del sub-ballast pari a $0,80 \text{ m}$ (al carico è stato poi applicato un coefficiente parziale di sicurezza pari a $1,5$).

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

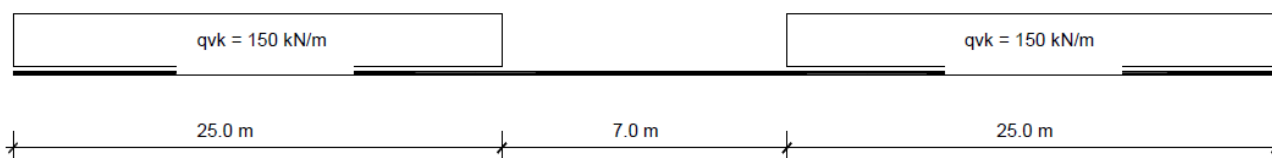
CARICHI VARIABILI

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.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

Treno di carico SW2.

Per la ripartizione si considera

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

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 α che deve assumersi come da tabella seguente:

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " α "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Figura 0-1 – Coefficienti α per modelli di carico.

Il valore considerato di carico distribuito, risulta dunque:

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

<i>Terreno</i>	<i>z_f</i>	<i>γ</i>	<i>c'</i>	<i>φ</i>	<i>E</i>	<i>c_u</i>
	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[kPa]
<i>C</i>	1	19	2.5	20	15	-
<i>TRV</i>	-	21	29.5	21	165	200
<i>TRV***</i>		18	0	14	15	-

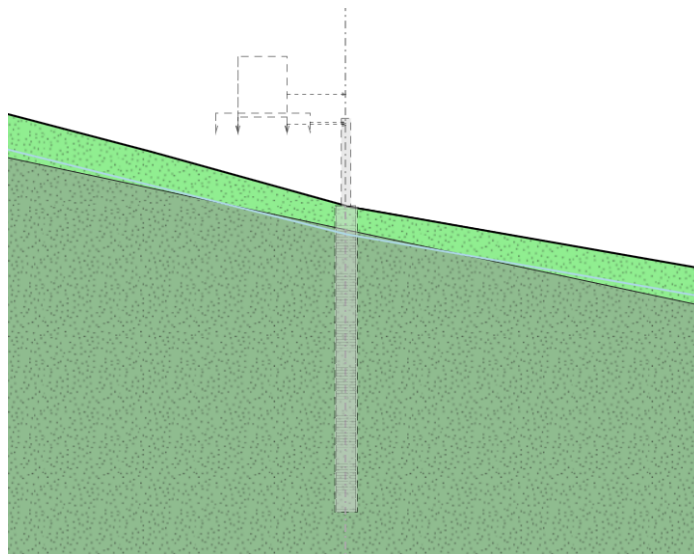
Tabella 3. Parametri geotecnici di calcolo

<i>Terreno</i>	<i>Condizione</i>	<i>Categoria sottosuolo</i>	<i>Categoria topografica</i>	<i>ag(g)</i>	<i>S</i>	<i>amax/g</i>	<i>us</i>	<i>θ</i>
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
<i>C</i>	<i>SLV</i>	<i>C</i>	<i>T1</i>	0.100	1.5	0.150	0.1	0.52
<i>TRV</i>	<i>SLV</i>	<i>C</i>	<i>T1</i>	0.100	1.5	0.150	0.1	0.52
<i>TRV***</i>	<i>SLV</i>	<i>C</i>	<i>T1</i>	0.100	1.5	0.150	0.1	0.52

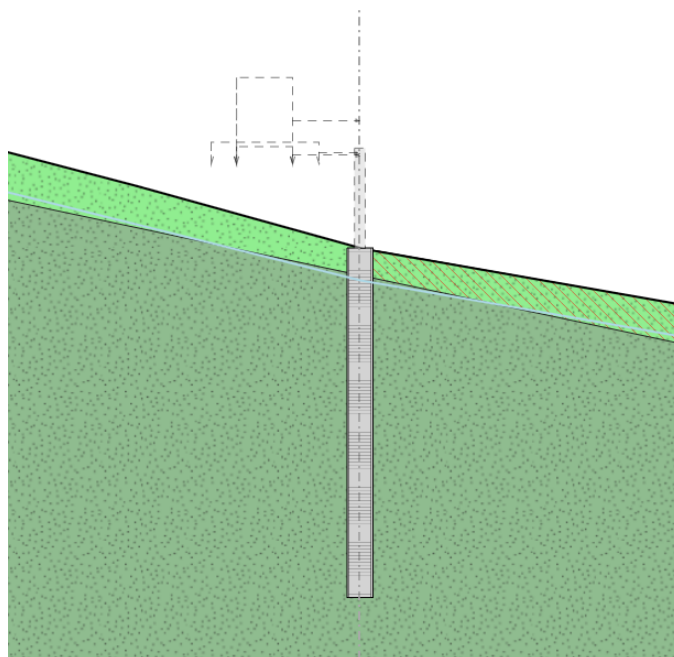
Tabella 4. Parametri per l'analisi sismica

Fasi di calcolo

1) Geostatico



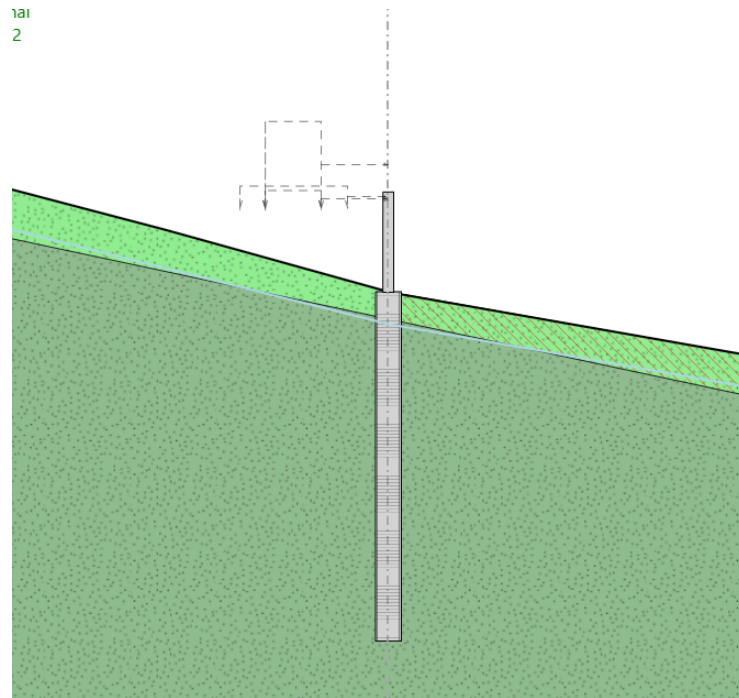
2) Inserimento paratia di pali



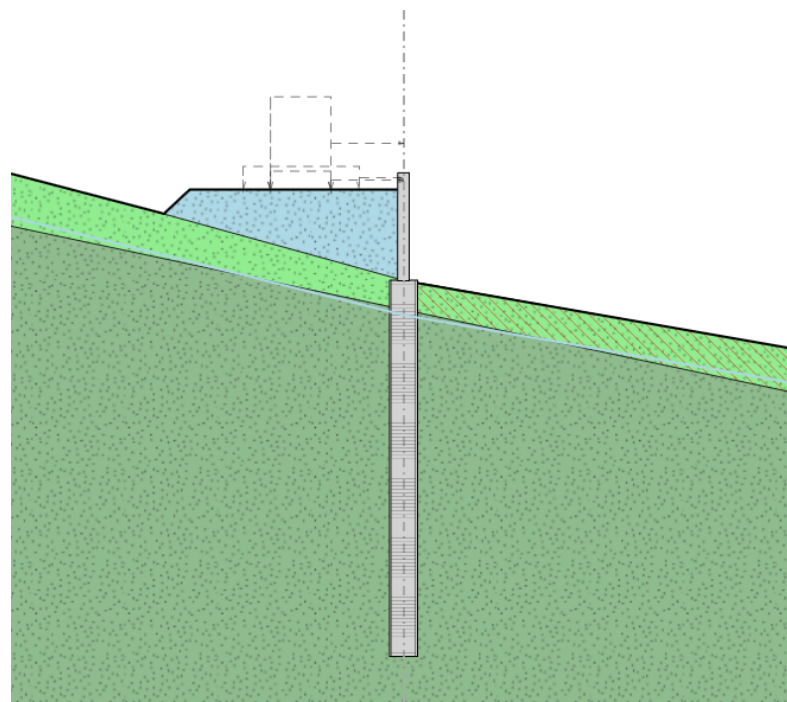
3) Posizionamento del paramento verticale del muro

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	25 di 46



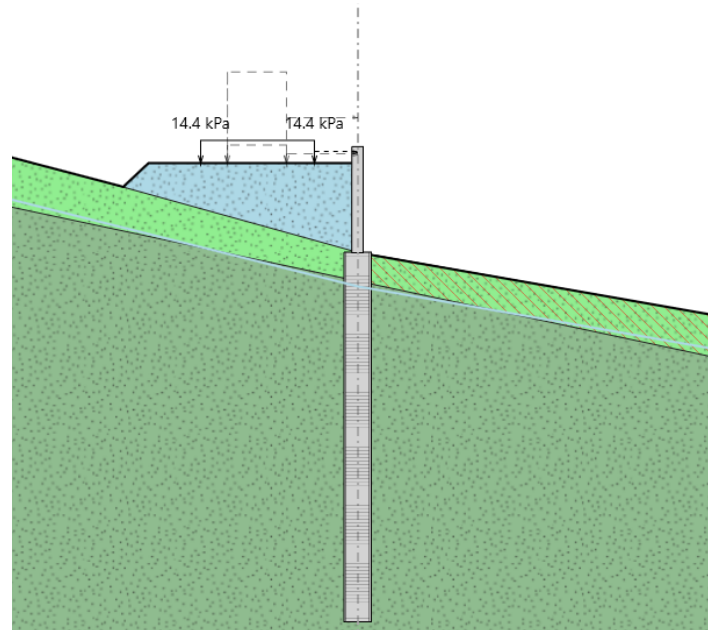
4) Disposizione del rilevato ferroviario



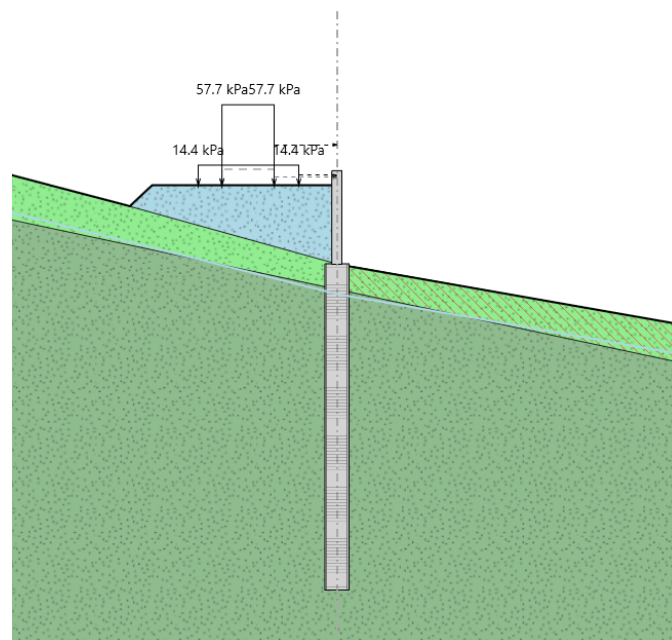
5) Applicazione carico permanente del ballast

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	26 di 46



6) Attivazione esercizio ferroviario



13.1.1.1 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

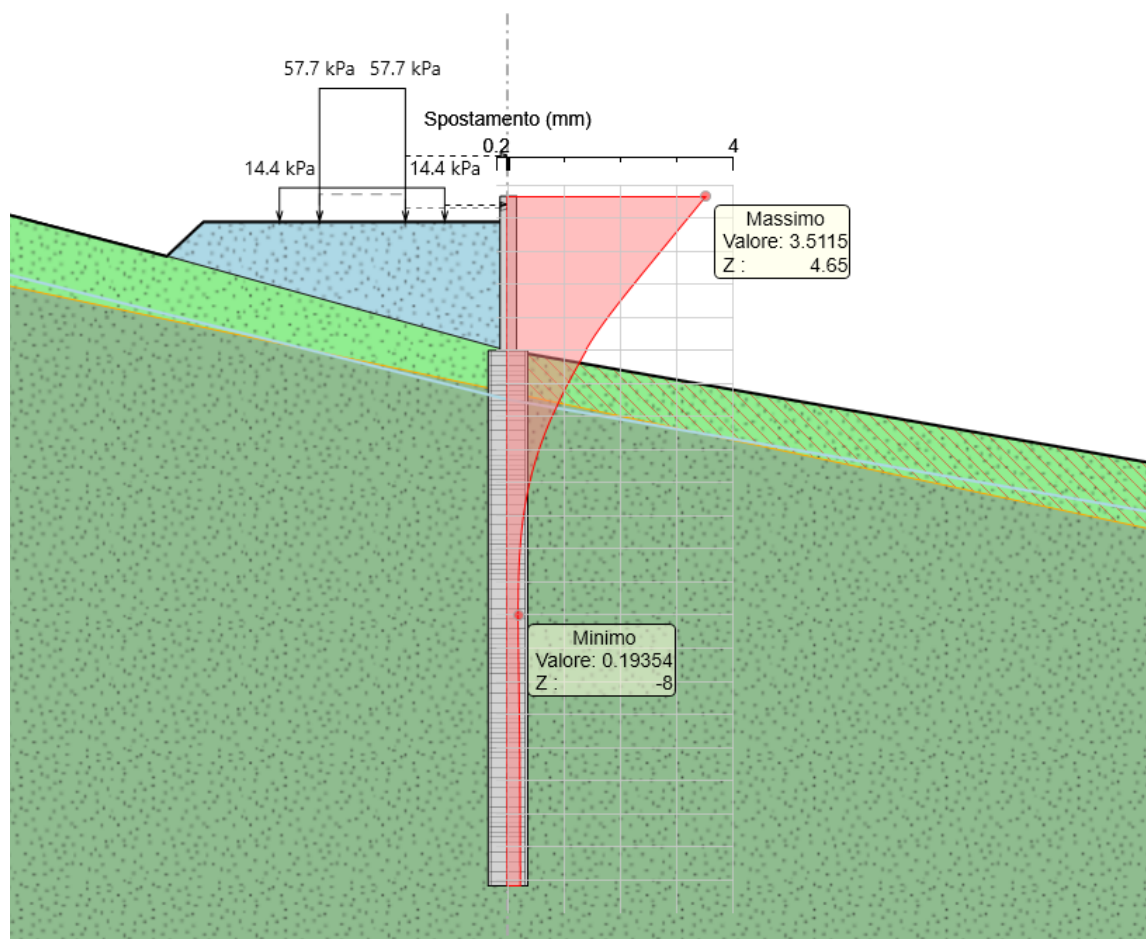


Figura 2. Deformata paratia SLE

La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

2) Momento di involucro SLU

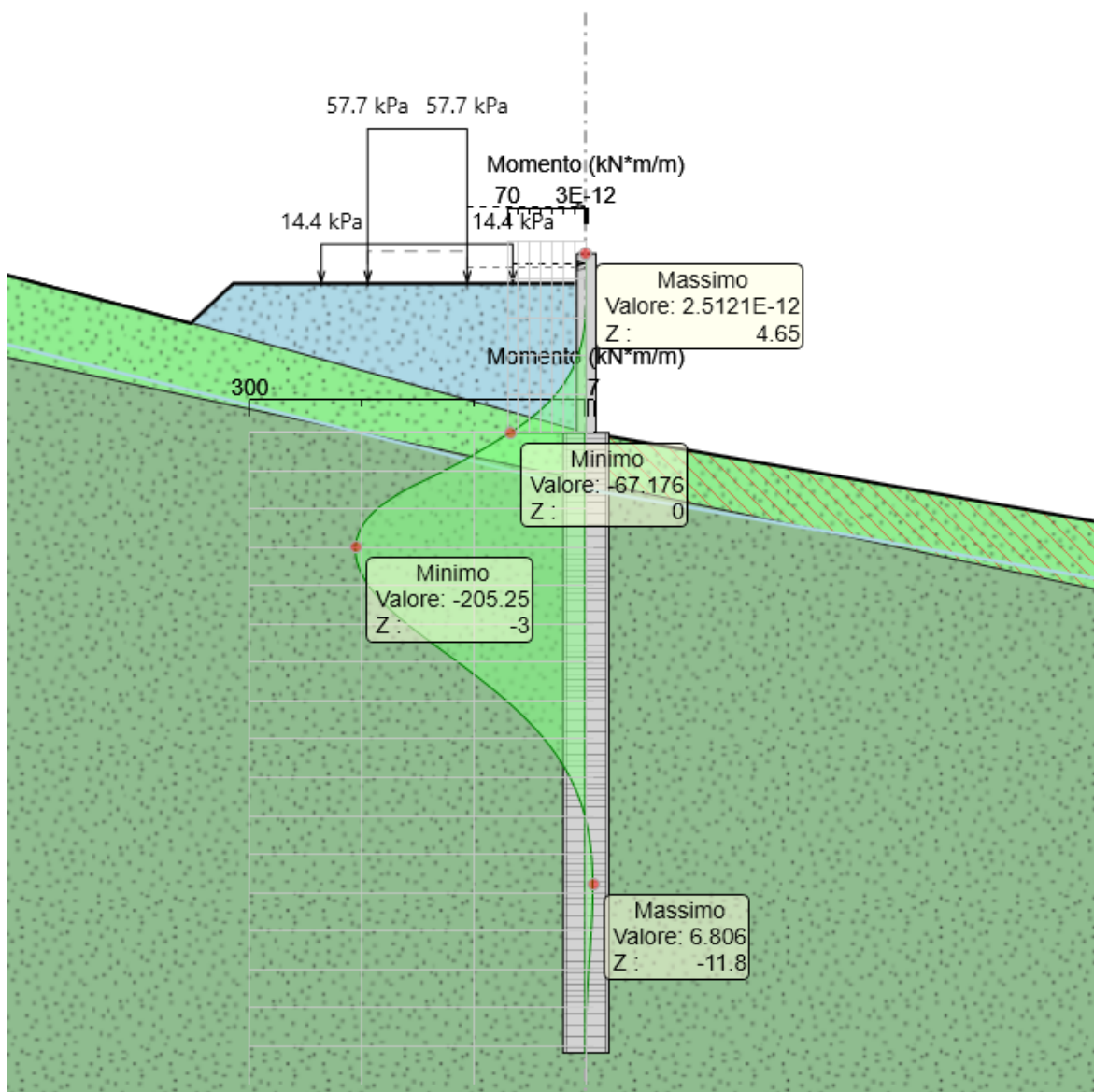


Figura 3. Momento di involucro SLU

3) Taglio di involuppo SLU

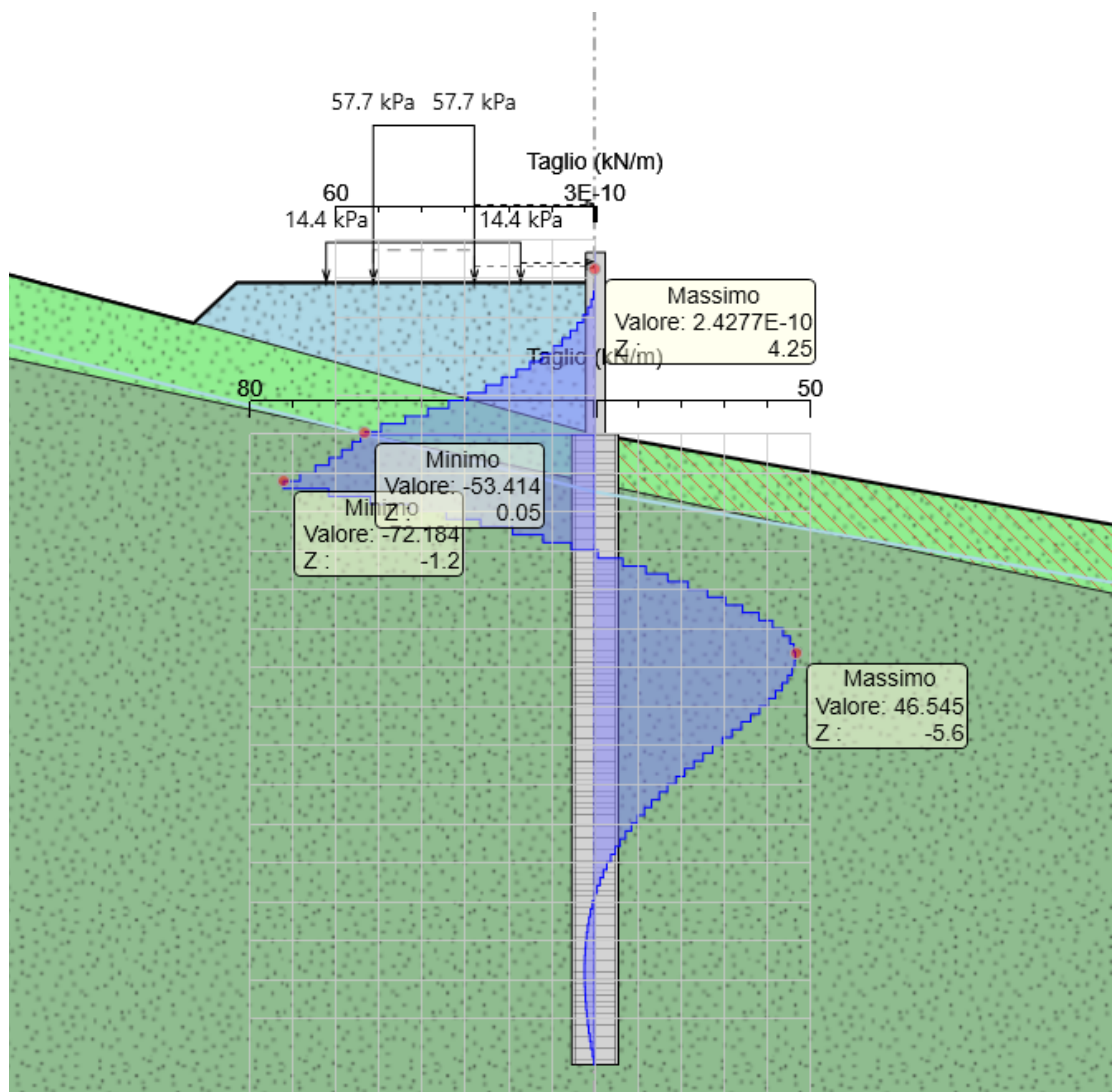


Figura 4. Taglio di involuppo SLU

4) Coefficiente di sfruttamento del momento e del taglio

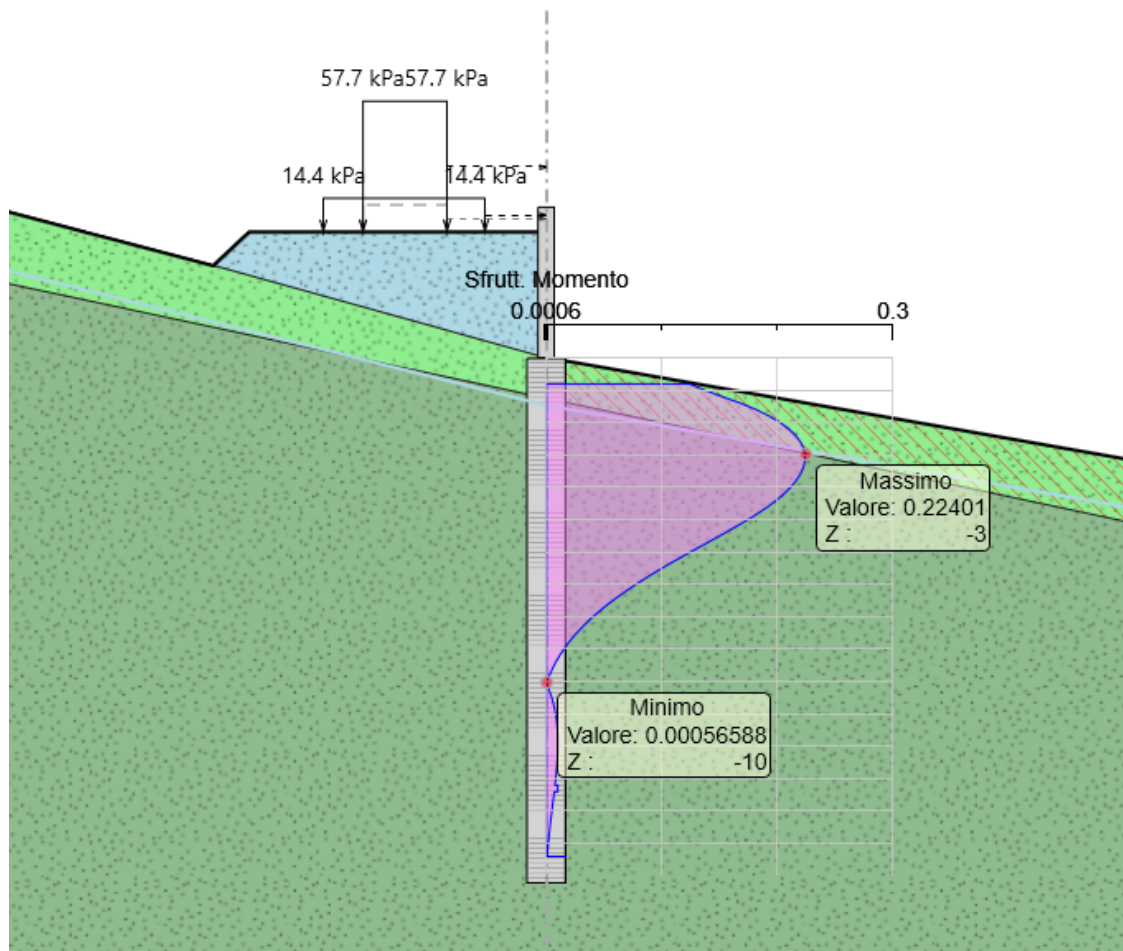


Figura 5. Coefficiente di sfruttamento del momento

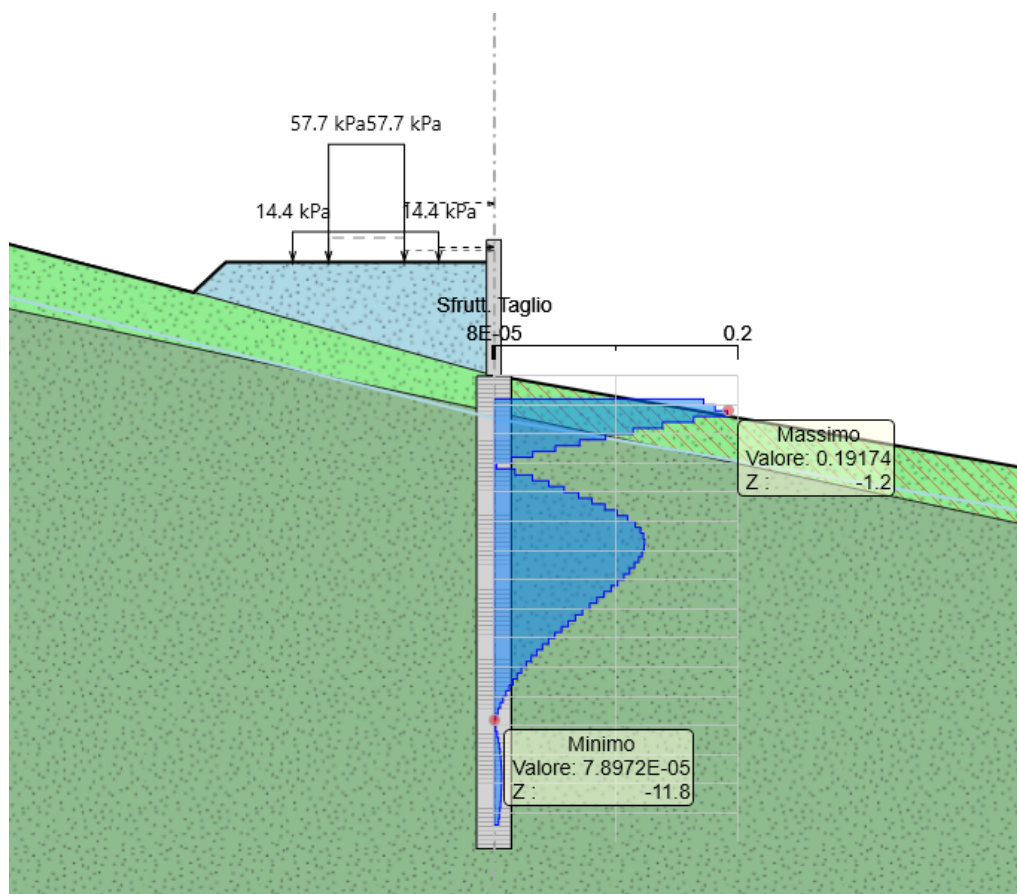


Figura 6. Coefficiente di sfruttamento del taglio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

13.1.1.2 Stabilità geotecnica della paratia

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

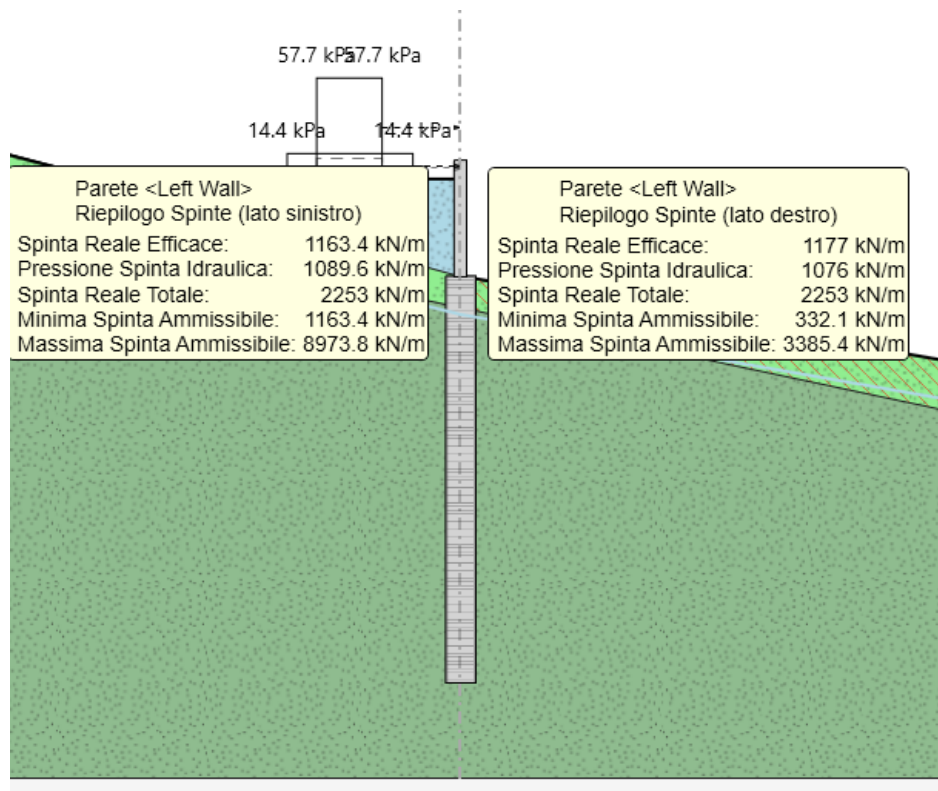
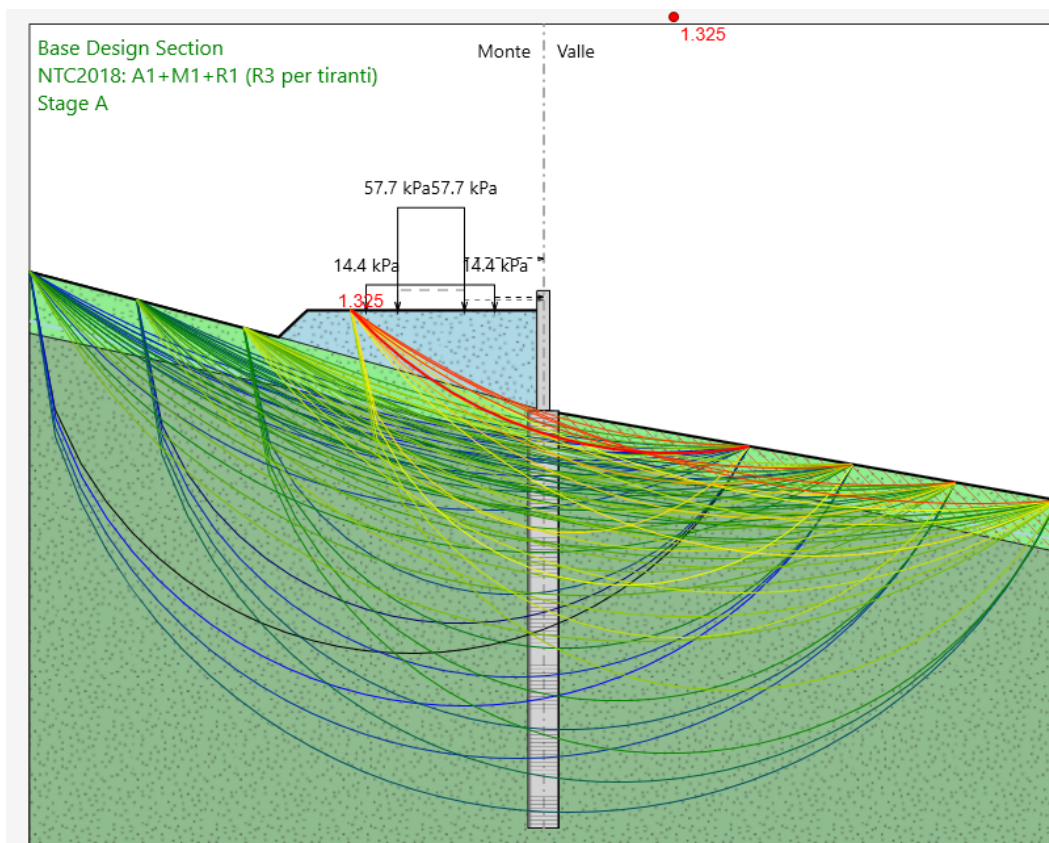


Figura 7. Spinte in corrispondenza dell'altezza massima di scavo

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



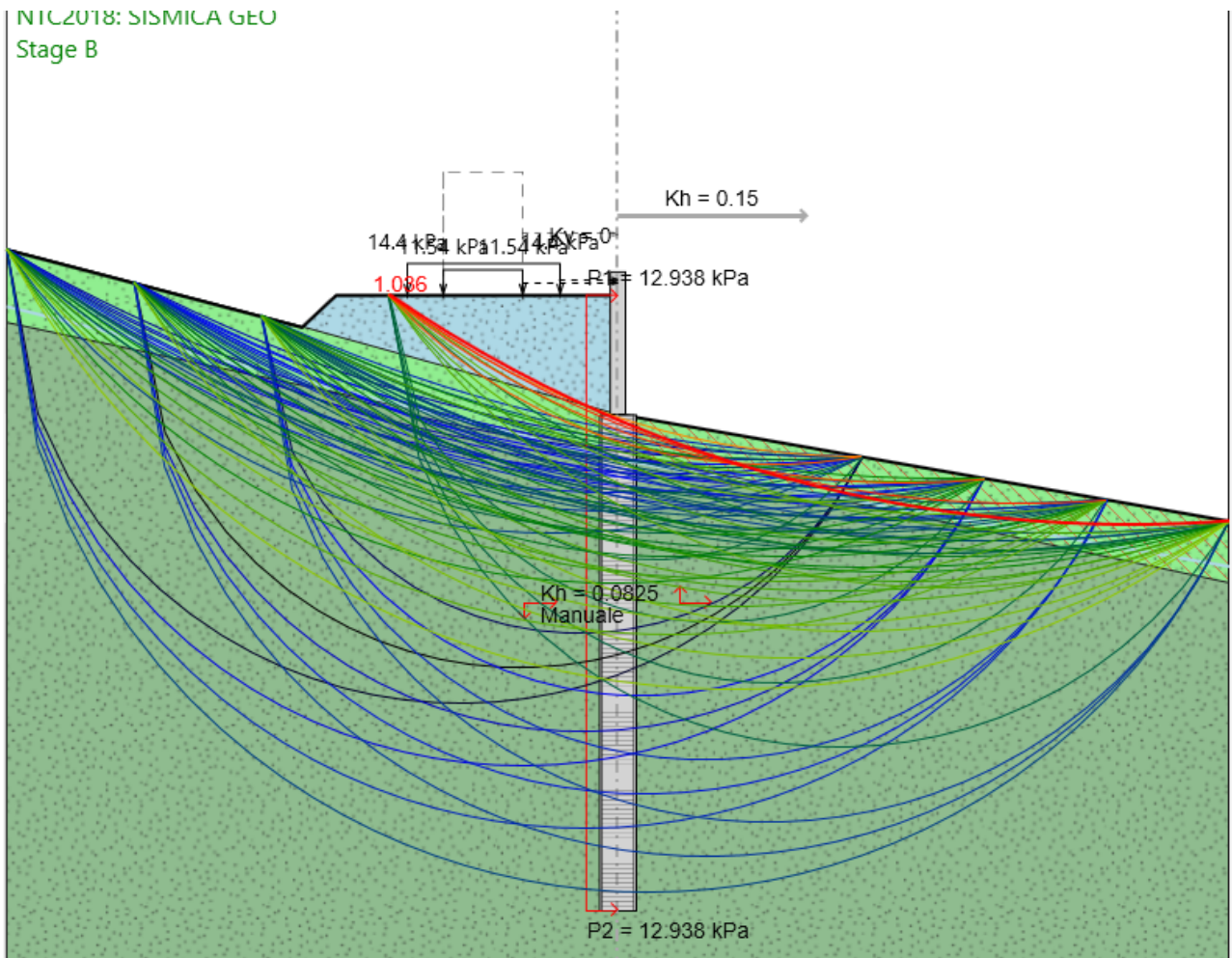
FS=1.325

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

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	34 di 46

NIC2018: SISMICA GEO
Stage B



FS=1.036

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

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 1.30m, armato con 1 ordine di barre di diametro 20 (in totale 20 ϕ 20) mm con copriferro di 82 mm.

COMBINAZIONI GABBIA 1 (a palo)			
	Mmax	Tmax	Nmax
	KN	KN	KN
SLU	266.8	7.0	97.4
SLU	181.8	93.8	46.5
SLV	578.8	15.9	91.7
SLV	438.4	167.2	46.5
SLE	200.3	52.9	97.4

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

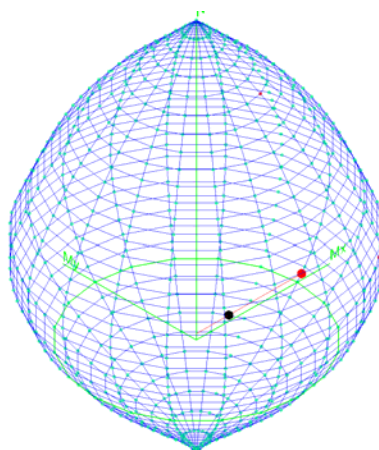


Figura 8. Dominio M-N in condizioni statiche

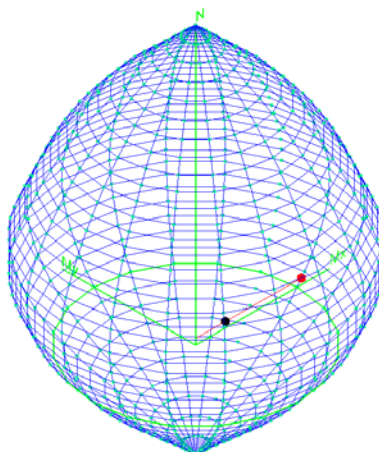


Figura 9. Dominio M-N in condizioni sismiche

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

DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco 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 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
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00	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		

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	37 di 46

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/cm²

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

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	20

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	26683	10	702	731	0
2	18182	10	9383	6343	0
3	57879	10	1591	1229	0
4	43837	10	16718	13907	0

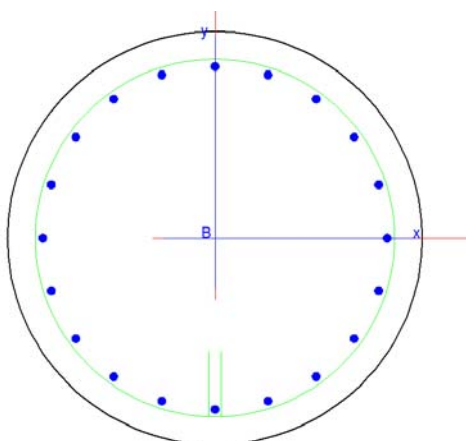
RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.5 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 11.0 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 5.9 cm

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	38 di 46



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 Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	26683	10	702	26671	1314	102783	146.41	40.8(11.8)
2	S	18182	10	9383	18179	98	100239	10.68	44.0(11.8)
3	S	57879	10	1591	57908	749	111243	69.92	40.8(11.8)
4	S	43837	10	16718	43864	71	107650	6.44	40.8(11.8)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
 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	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.252	50.0	50.0	0.00221	41.5	0.0	-0.01040	-41.5	0.0
2	0.00350	0.245	50.0	0.1	0.00217	41.5	0.0	-0.01079	-41.5	0.0
3	0.00350	0.275	50.0	0.3	0.00232	41.5	0.0	-0.00921	-41.5	0.0
4	0.00350	0.265	50.0	0.0	0.00227	41.5	0.0	-0.00970	-41.5	0.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	39 di 46

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	0.000151940	0.000002164	-0.004097794	0.252	0.755
2	0.000156201	0.000000166	-0.004310069	0.245	0.746
3	0.000138946	0.000000873	-0.003447461	0.275	0.784
4	0.000144285	0.000000086	-0.003714236	0.265	0.771

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	600	mm				
c	82	mm				
rs	518	mm				
α	0.58	rad				
Atot	1130973	mm ²				
A	940269	mm ²				
h	1118.3	mm	Rck	30		
d	929.8	mm	fck	24.9		
bw	1011.3	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.464			N.ro		area_ferro
k	1.464		As	10	ϕ	20.0
Asl	3142	mm ²				
Asl/(bw·d)	0.003					
ρ_1	0.003		Vrd	334.7	kN	
vmin	0.309		Ved	94	KN	
vmin·bw·d	290831	N	Vrd/Ved	3.57	-	
Vrd	334667	N				
Non necessita di armatura a taglio						

Tabella 6. Verifica a taglio in condizioni statiche

RI10: Paratie di pali MU06
 RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	40 di 46

VERIFICA A TAGLIO - SLV						
r	600	mm				
c	82	mm				
rs	518	mm				
α	0.58	rad				
Atot	1130973	mm ²				
A	940269	mm ²				
h	1118.3	mm	Rck	30		
d	929.8	mm	fck	24.9		
bw	1011.3	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.464			N.ro		area_ferro
k	1.464		As	10	ϕ	20.0
Asl	3142	mm ²				
Asl/(bw·d)	0.003					
ρ_1	0.003		Vrd	334.7	kN	
vmin	0.309		Ved	167	KN	
vmin·bw·d	290831	N	Vrd/Ved	2.00	-	
Vrd	334667	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 entrambi le condizioni, quindi non è necessario armare a taglio.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

– 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	$\leq w_3$
		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:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

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	9739	18493	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/cm²]
 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/cm²]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] 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	17.3	0.0	0.0	-185	0.0	-41.5	----	----

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

Ver. La sezione viene assunta come fessurata solo se la trazione nel calcestruzzo supera f_{ctm} in almeno una combinazione
 Esito della verifica
 e1 Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
 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 = $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [eq.(7.13)EC2]
 k3 = Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 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 = $sr_{max} \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(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	0.00000	0.00000	----	----	----	----	----	0.000 (0.20)	31933	0

Verificata

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0600 001	REV. B

13.1.1.3 Verifica del cordolo

La verifica del cordolo è stata effettuata ipotizzando che un palo non sia efficace.

Il comportamento del cordolo è schematizzabile come quello di trave semplicemente appoggiata in corrispondenza di due pali posti ad interasse pari al doppio di quello di progetto. Si considera quindi un carico uniformemente distribuito sul cordolo che equilibra le massime azioni taglianti sui pali ricavate dal programma di calcolo.

Per il cordolo di dimensione 1.20x1.60m è stata prevista un'armatura costituita da 5ø20 lato terra e lato scavo.

AZIONE	LUCE DI CALCOLO	MOMENTO	TAGLIO
KN/m	m	KNm	KN
72.14	2.6	60.96	93.78

Le sollecitazioni agenti sono inferiori a quelle resistenti, come di seguito illustrate.

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
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:	C32/40	
	Resis. compr. di progetto fcd:	188.10	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:	336428	daN/cm ²
	Resis. media a trazione fctm:	30.00	daN/cm ²
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm ²
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm ²
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0	daN/cm ²
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0	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

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	44 di 46

1	-80.0	0.0
2	-80.0	120.0
3	80.0	120.0
4	80.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-72.9	7.1	20
2	-72.9	112.9	20
3	72.9	112.9	20
4	72.9	7.1	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	20
2	2	3	3	20

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	0	6096	0	9378	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.1 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 34.5 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.)

RI10: Paratie di pali MU06
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU0600 001	B	45 di 46

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 Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0	6096	0	0	70703	0	11.60	31.4(31.3)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
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	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00292	0.042	-80.0	120.0	-0.00151	-72.9	112.9	-0.06750	-72.9	7.1

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	0.000623770	-0.071928768	0.042	0.700

METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
d Altezza utile sezione [cm]
bw Larghezza minima sezione [cm]
Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02]
Scp Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm²]

N°Comb	Ver	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	9378	61701	112.9	160.0	0.0017	0.0

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</p>					
<p>RI10: Paratie di pali MU06 RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU0600 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 46 di 46</p>

13.2 Incidenza paratia

68	kg/m	Incidenza per unità di lunghezza
87	kg/m ³	Incidenza per unità di volume di palo