

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

TR01: Paratie di pali MU27

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 CL MU2700 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Feb-2020	M.Arcangeli	Feb-2020	A.Barreca	Feb-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. Fulvio Arduini
Autore della Relazione di Calcolo

INDICE

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

TR01: Paratie di pali MU27
 RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	2 di 36

13.1.1	<i>Paratia ϕ1000 int. 1.20 m</i>	17
13.1.1.1	<i>Sintesi dei risultati</i>	21
13.1.1.2	<i>Stabilità geotecnica della paratia</i>	25

 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 001	REV. B

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).

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche della paratia definitiva MU27.

L'opera di sostegno in esame consiste in una paratia di pali trivellati con diametro nominale di 1000 mm ed interasse 1.2 m che si estende Km 0+100 al Km 0+426.

In accordo con la Normativa vigente, al fine di valutare i parametri di azione sismica dell'area, si utilizzano le seguenti coordinate: lat = 37.535699 e long.= 14.056904

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.

 <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>TR01: Paratie di pali MU27 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>MU2700 001</td> <td>B</td> <td>4 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	4 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	4 di 36								

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.27.0.0.001.A : 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 001	REV. B

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

A partire dal piano campagna si incontrano le litologie del FYN4 (Alternanza argille, argille siltose, siltiti e quarzo areniti torbiditiche).

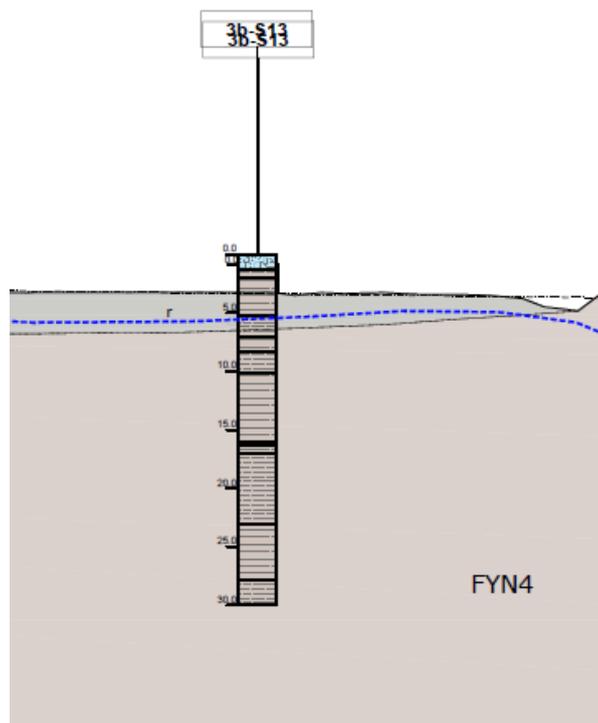


Figura 2. Profilo geologico

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.

 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 001	REV. B

8.1 Inquadramento geologico

L'opera di sostegno viene realizzata all'interno della formazione della FYN4 , ovvero dell'alternanza argille, argille siltose, siltiti e quarzo areniti torbiditiche.

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]	[°]	[°]
FYN4	0-40	40	20	16.66	21	17.50

8.2.2 Il regime idraulico

Secondo quanto riportato sul profilo geologico, la falda di riferimento può essere posta a circa 9.00 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 =37.535699 e long.= 14.056904

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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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:

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

	Km 0+100 – Km 0+426	
	Strutture di sostegno	
Coord. geografiche	Latitudine: 37.535699	Longitudine: 14.056904
T_R	1068(SLV)	
a_g/g	0.097	
F_0	2.659	
Categoria sottosuolo	C	
S_s	1.50	
Categoria topografica	1	
S_T	1.00	
a_{max}/g	0.145	

 <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>TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU2700 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 10 di 36</p>

9 SOLUZIONI PROGETTUALI

9.1.1 Opere di sostegno - paratie

Le opere in progetto interessano un tratto che comprende:

- Una paratia realizzata con pali di diametro 1200mm e interasse pari a 1.20 m. L'altezza massima di scavo è di circa 8.80 m.

 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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 provvisionali

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

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

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

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – ENNA (LOTTO 4) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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

 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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 $\square=1$ (§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:

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

 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 001	REV. B

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.

 <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>TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>COMMESSA RS3U</p>	<p>LOTTO 40 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU2700 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 16 di 36</p>

13 VERIFICA DELLE OPERE

13.1 Opere di sostegno – paratie

- Paratia tipo $\phi 1000$ int. 1.20 m

13.1.1 Paratia $\phi 1000$ int. 1.20 m

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

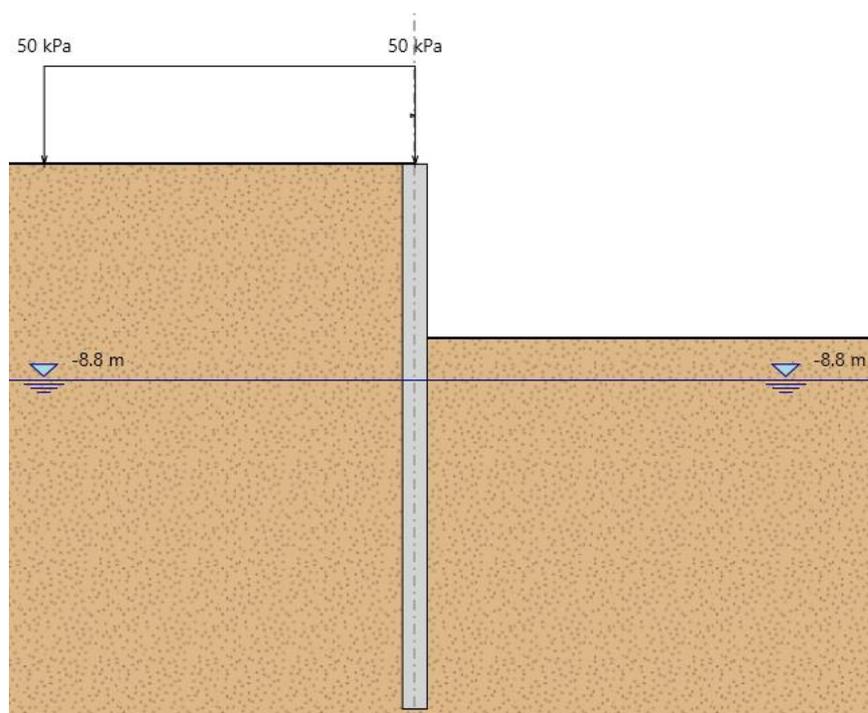


Figura 3. Schema di calcolo paratia

Tabella 2. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1

Tipologia struttura di sostegno	pali $\phi 1000$ ad interasse 1.20 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 21\text{m}$
Altezza di scavo (da estradosso cordolo)	$H = 8.80\text{m} = (8.30 + 0.50)$ a f.d.s
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 50 \text{ kPa}$ (misto cementato)
Sovraccarichi permanenti a valle	$g = 0 \text{ kPa}$
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 0 \text{ kPa}$
Sovraccarichi variabili a valle	$q = 0 \text{ kPa}$

 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 001	REV. B

Analisi dei carichi:

Si considera un carico permanente $P= 50$ KPa derivante dalla presenza di terreno misto cementato a monte

Terreno	z_f	γ	c'	φ	E	cu
	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[kPa]
FYN4	-	20	20	21	220	175

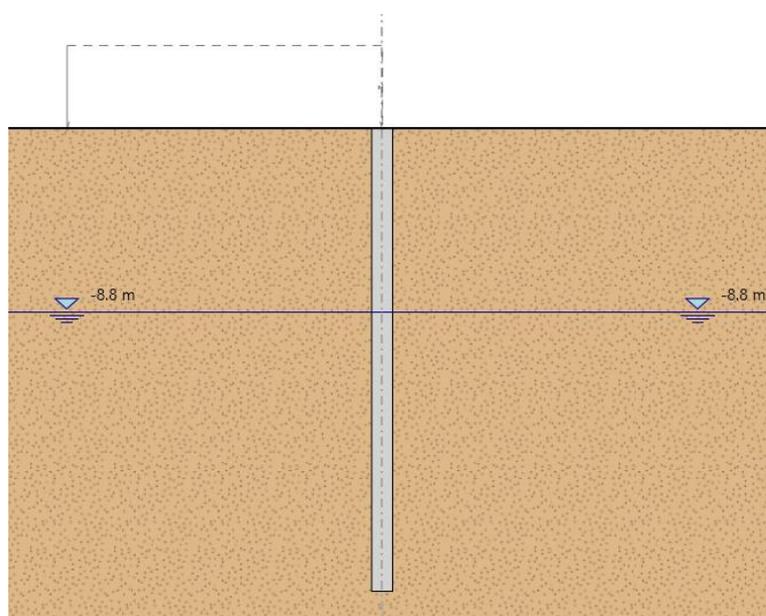
Tabella 3. Parametri geotecnici di calcolo

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	a_g/g	S	a_{max}/g	u_s	θ
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
FYN4	SLV	C	T1	0.010	1.5	0.145	0.1	0.38

Tabella 4. Parametri per l'analisi sismica

Fasi di calcolo

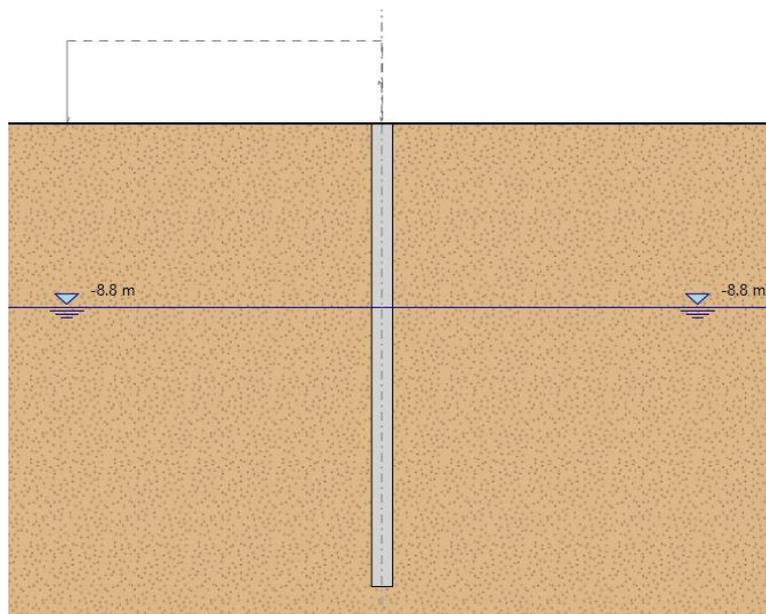
1) Geostatico



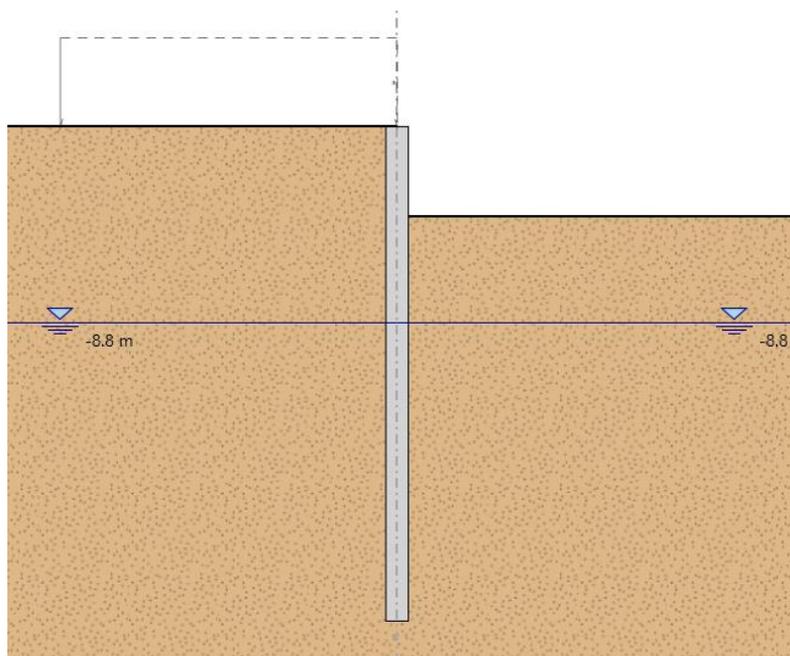
TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	19 di 36

2) Inserimento paratia di pali



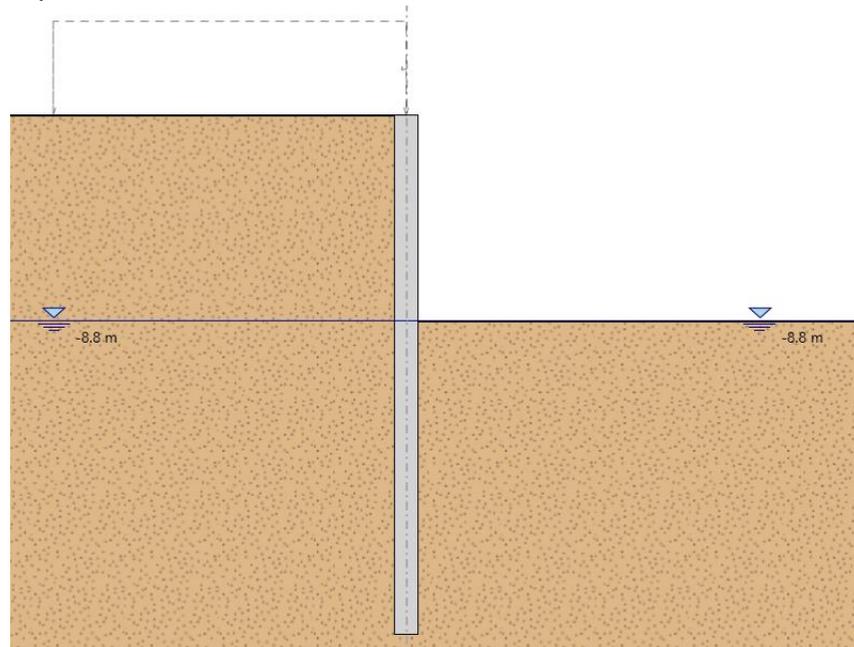
3) Prescavo



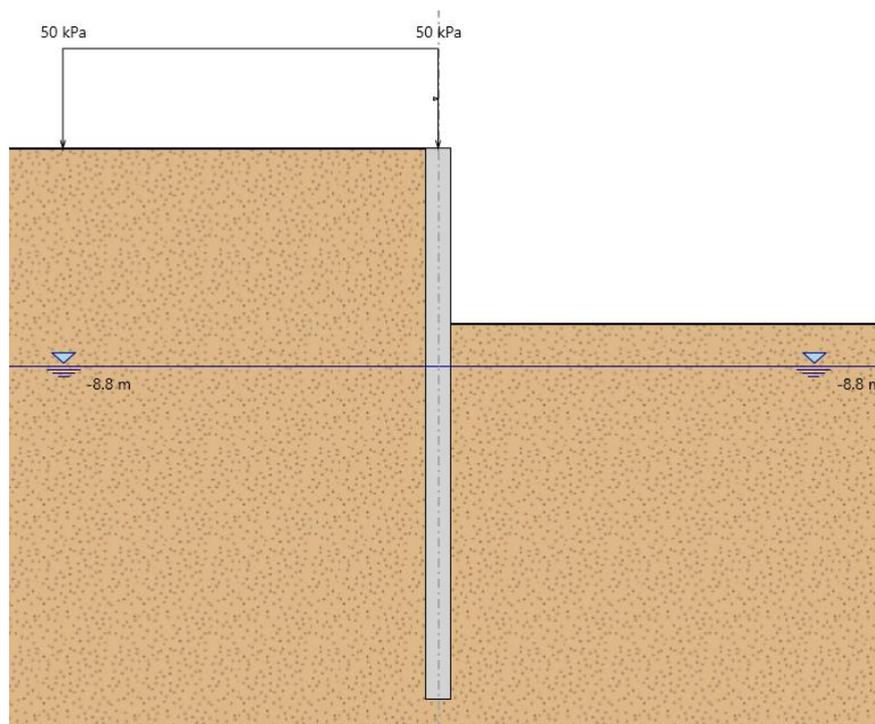
TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	20 di 36

4) Scavo fino a quota 8.80m da estradosso cordolo



5) Rinterro di 1.70m e posizionamento del terreno misto cementato a monte (simulato come carico di 50KPa)



 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 001	REV. B

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

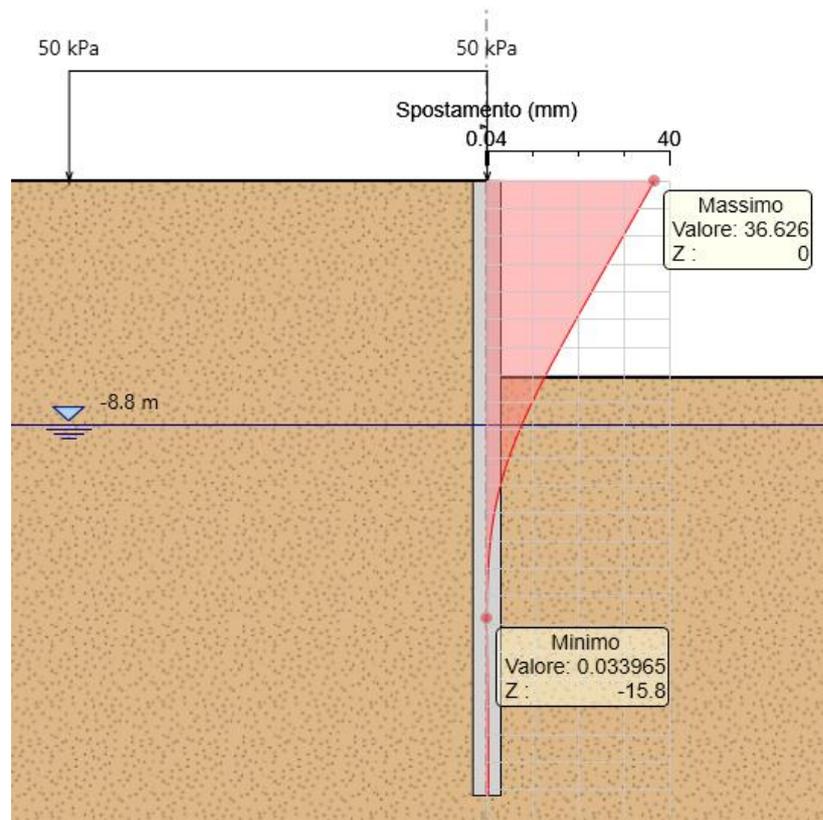


Figura 4. Deformata paratia SLE

La deformata dell'opera rientra nei limiti progettuali stabiliti.

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	22 di 36

2) Momento di involucro SLU

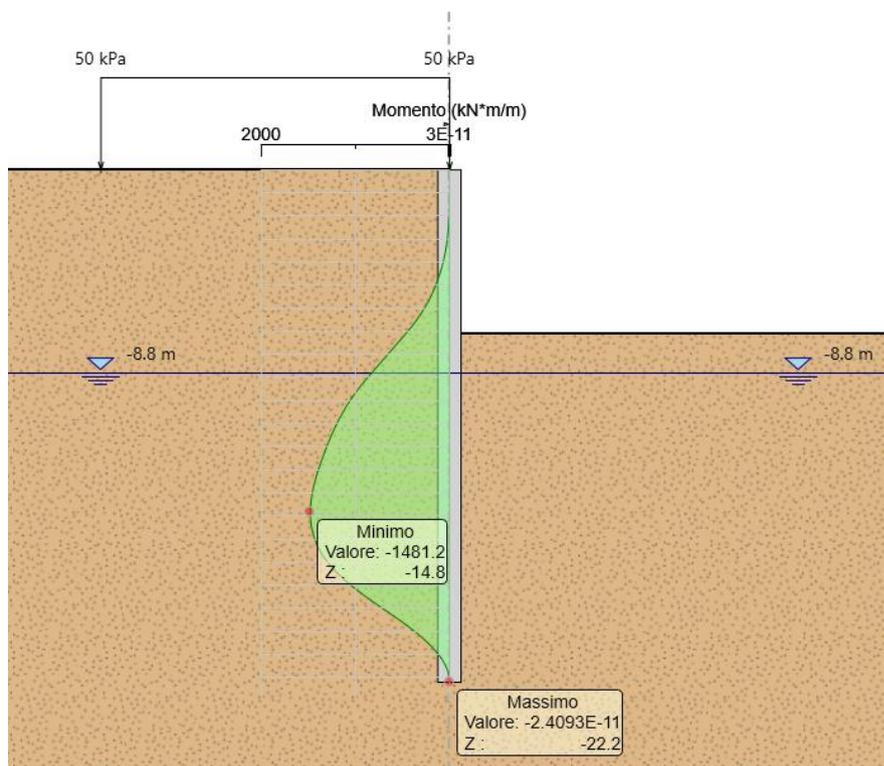


Figura 5. Momento di involucro SLU

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	23 di 36

3) Taglio di involuppo SLU

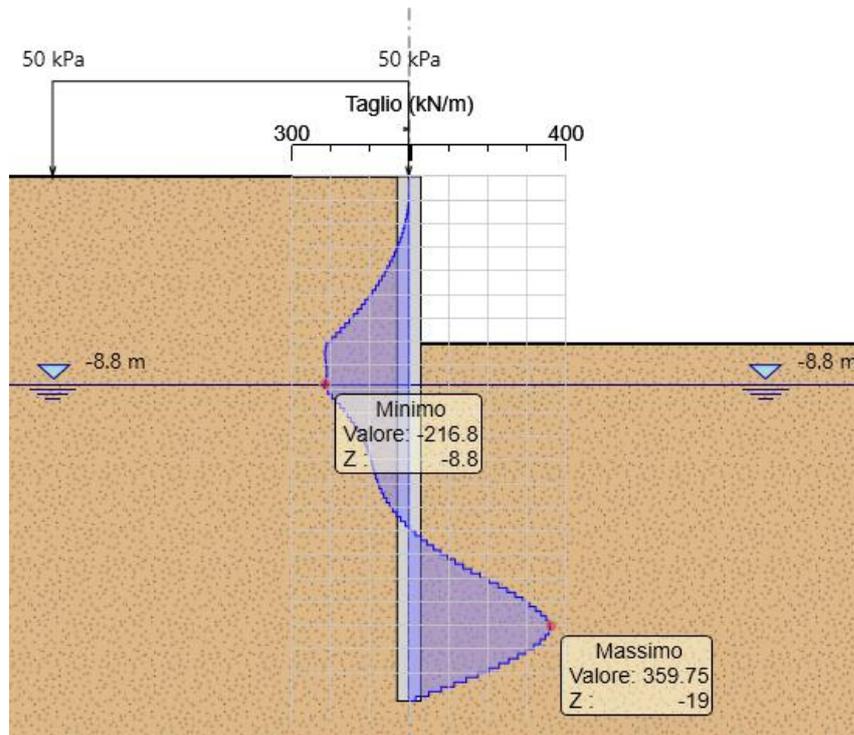


Figura 6. Taglio di involuppo SLU

4) Coefficiente di sfruttamento del momento e del taglio

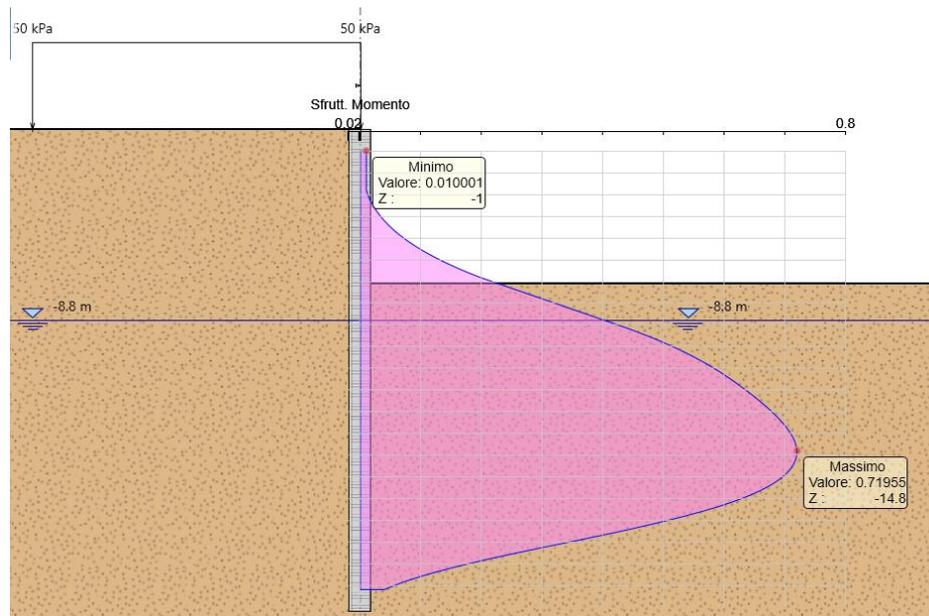


Figura 7. Coefficiente di sfruttamento del momento

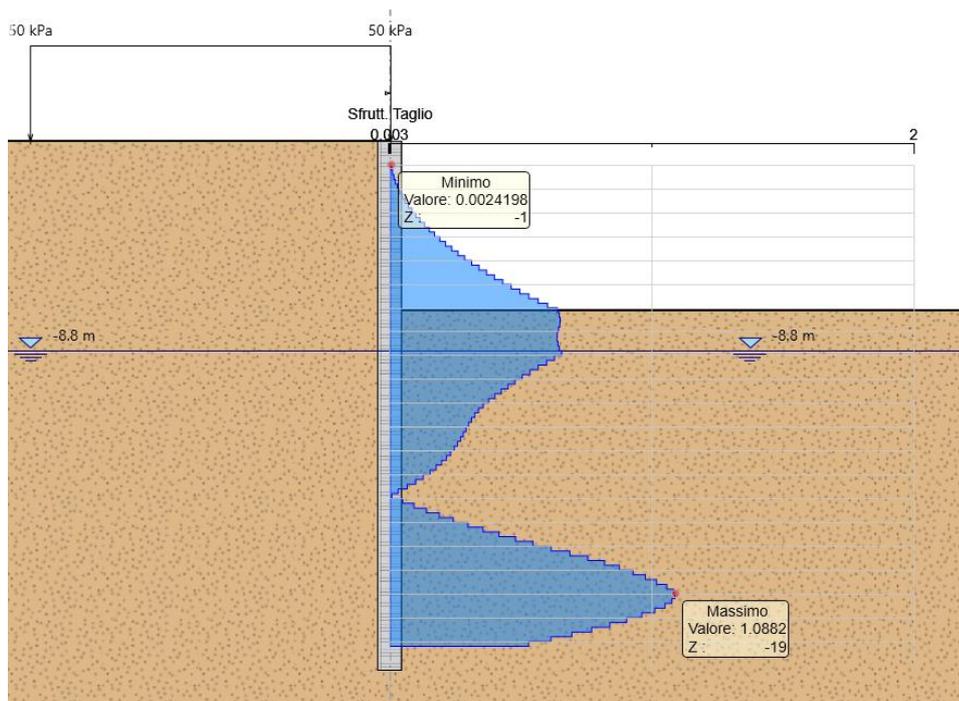


Figura 8. Coefficiente di sfruttamento del taglio

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	25 di 36

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

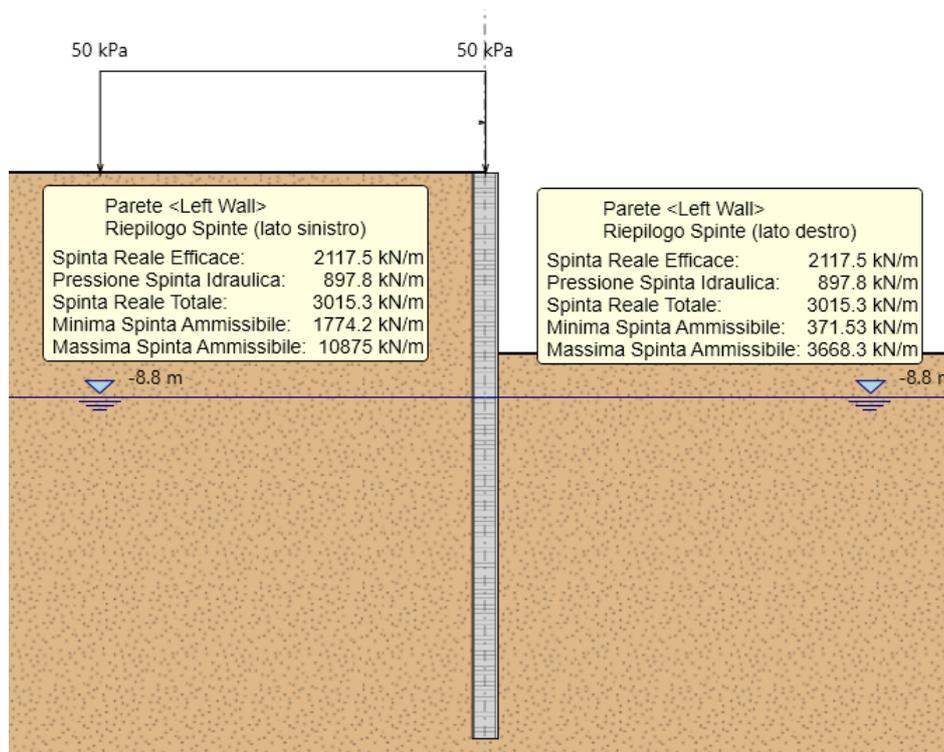
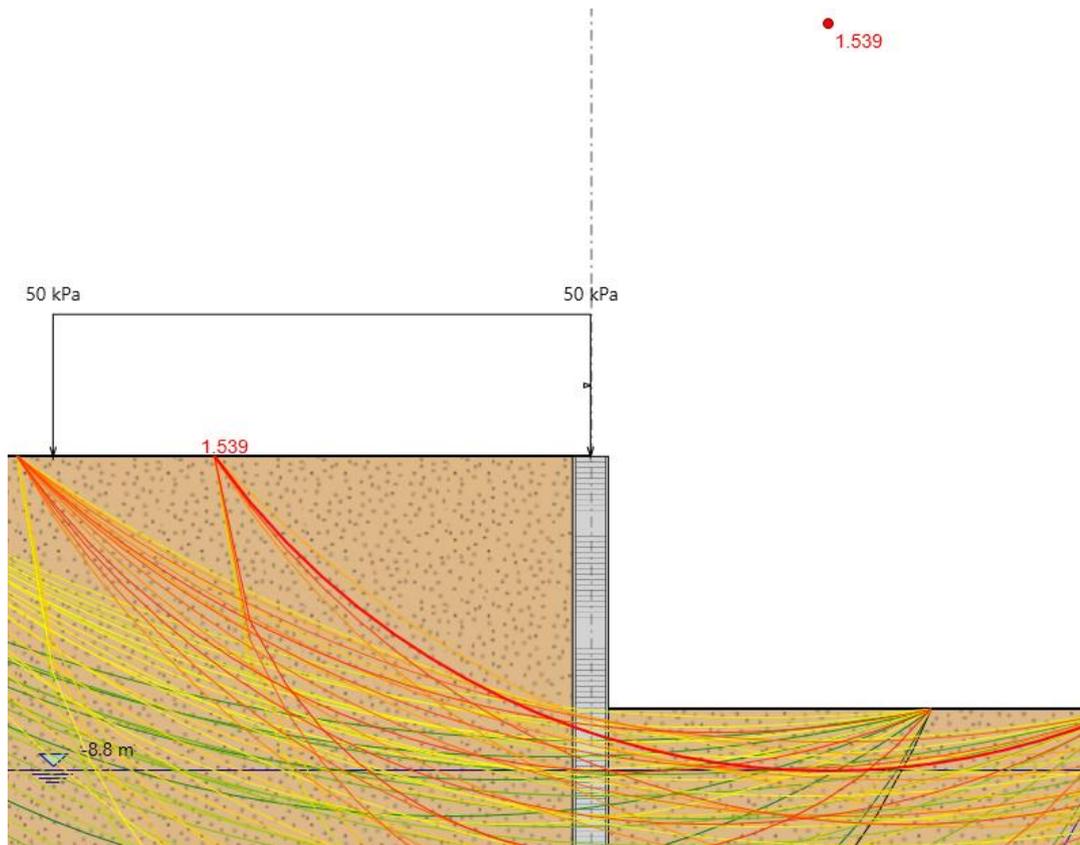


Figura 9. Spinte in corrispondenza dell'altezza massima di scavo

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	26 di 36

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

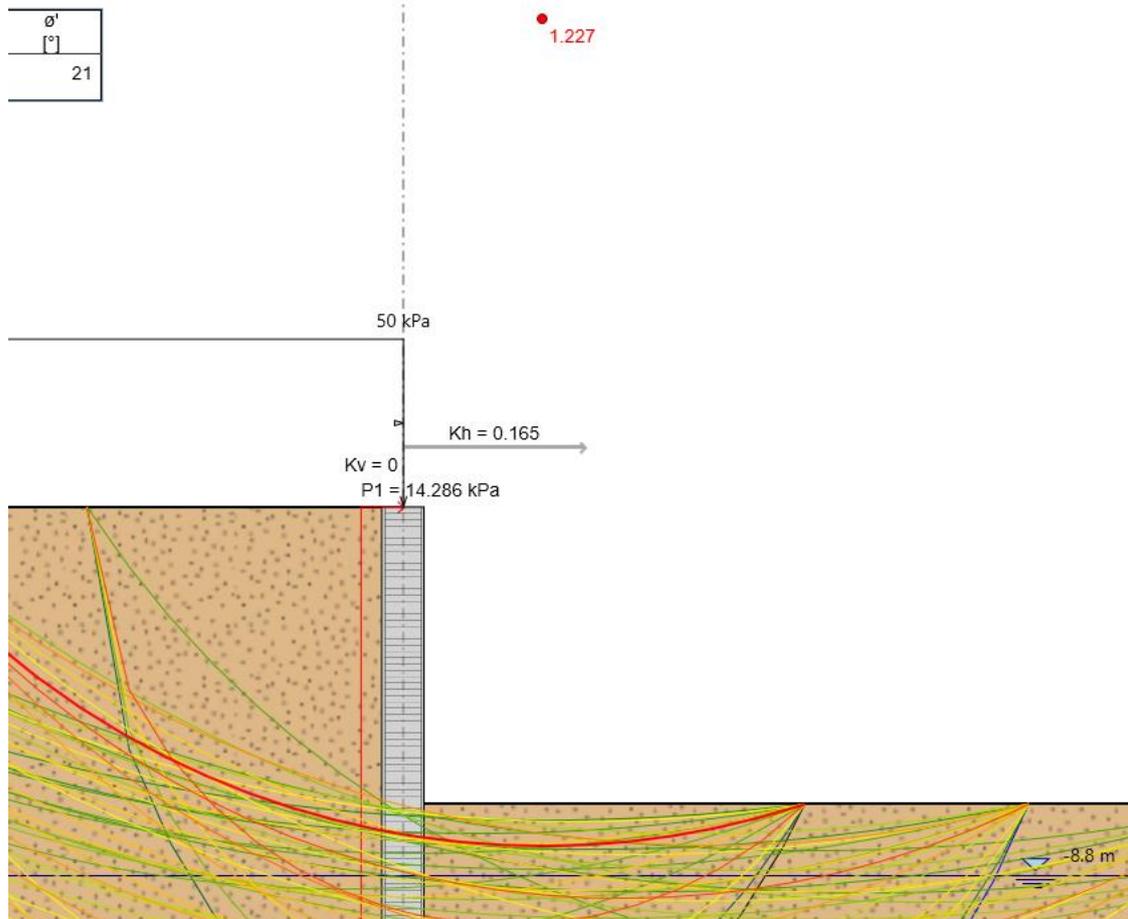


FS=1.539

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	27 di 36

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



FS=1.227

 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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 1000 mm, passo 1.20 m, armato con 2 ordini di barre di diametro 26 (in totale 36 ϕ 26) mm con copriferro di 85 mm.

COMBINAZIONI GABBIA 1 (a palo)			
	Mmax	Tmax	Nmax
	KN	KN	KN
SLU	1031.8	18.8	192.4
SLU	652.1	253.6	243.5
SLV	1546.8	19.7	196.3
SLV	902.8	360.2	255.3
SLE	793.7	195.0	192.4

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

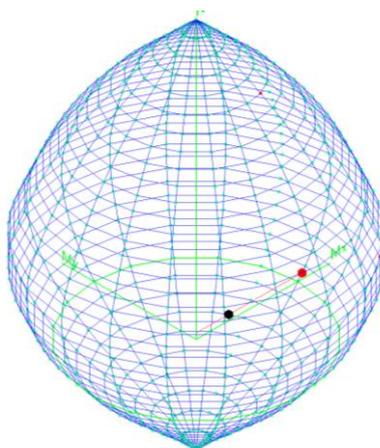


Figura 10. Dominio M-N in condizioni statiche

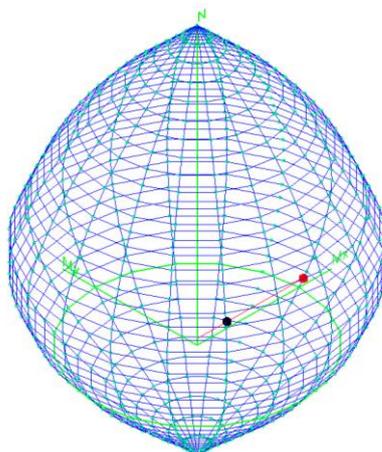


Figura 11. Dominio M-N in condizioni sismiche

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

DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze 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 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		

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	30 di 36

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 circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonferenza 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

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	19242	103184	0	1878	0
2	24347	65212	0	25356	0
3	19635	154680	0	1968	0
4	25525	90283	0	36016	0

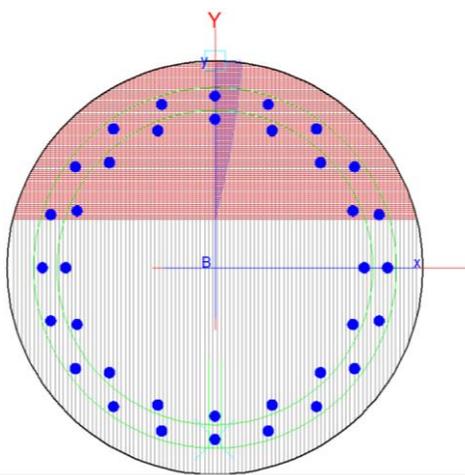
RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.0 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 5.6 cm

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	31 di 36



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 [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	19242	103184	0	19249	168366	0	1.63	191.1(23.6)
2	S	24347	65212	0	24323	169513	0	2.60	191.1(23.6)
3	S	19635	154680	0	19612	168448	0	1.09	191.1(23.6)
4	S	25525	90283	0	25497	169779	0	1.88	191.1(23.6)

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

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
1	0.00141	0.0	50.0	0.00110	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
2	0.00142	0.0	50.0	0.00111	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
3	0.00141	0.0	50.0	0.00110	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5
4	0.00143	0.0	50.0	0.00111	0.0	41.5	-0.00196	0.0	-41.5

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	32 di 36

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	0.000036801	-0.000429266	----	----
2	0.000000000	0.000036949	-0.000423132	----	----
3	0.000000000	0.000036811	-0.000428828	----	----
4	0.000000000	0.000036983	-0.000421709	----	----

VERIFICA A TAGLIO - SLU						
r	500	mm				
c	85	mm				
rs	415	mm				
α	0.56	rad				
Atot	785398	mm ²				
A	644028	mm ²				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	764.2	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.512			N.ro		area_ferro
k	1.512		As	20	ϕ	26.0
Asl	10619	mm ²				
Asl/(bw·d)	0.016					
ρ_1	0.016		Vrd	403.0	kN	
vmin	0.325		Ved	254	kN	
vmin·bw·d	209035	N	Vrd/Ved	1.59	-	
Vrd	402999	N				
Non necessita di armatura a taglio						

Tabella 6. Verifica a taglio in condizioni statiche

TR01: Paratie di pali MU27
 RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	33 di 36

VERIFICA A TAGLIO - SLV						
r	500	mm				
c	85	mm				
rs	415	mm				
α	0.56	rad				
Atot	785398	mm ²				
A	644028	mm ²				
h	931.9	mm	Rck	30		
d	764.2	mm	fck	24.9		
bw	842.8	mm	γ_c	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	1.512			N.ro		area_ferro
k	1.512		As	20	ϕ	26.0
Asl	10619	mm ²				
Asl/(bw·d)	0.016					
ρ_1	0.016		Vrd	403.0	kN	
vmin	0.325		Ved	360	KN	
vmin·bw·d	209035	N	Vrd/Ved	1.12	-	
Vrd	402999	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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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					
	TR01: Paratie di pali MU27 RELAZIONE DI CALCOLO	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU2700 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	19242	79373	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	82.1	0.0	0.0	-1734	0.0	-41.5	1159	42.5

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

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. 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	-0.00100	0	0.500	26.0	72	0.00060 (0.00052)	365	0.198	38153	0

Verificata



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

TR01: Paratie di pali MU27
RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40 D 29	CL	MU2700 001	B	36 di 36

14 TABELLA INCIDENZA ARMATURA

PARATIA MU27			
TIPO	PARTE D'OPERA	INCIDENZA LINEARE (Kg/m)	INCIDENZA (Kg/mc)
PARATIA	Palo L=21.00m	240	305