

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

Opere di sostegno di linea

RI12: Opera di sostegno MU58

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 78 CL MU5800 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Gen-2020	A.Di Costanzo <i>A. Di Costanzo</i>	Gen-2020	A.Barreca <i>A. Barreca</i>	Gen-2020	D.Tiberti Apr-2020
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Apr-2020	A.Di Costanzo <i>A. Di Costanzo</i>	Apr-2020	A.Barreca <i>A. Barreca</i>	Apr-2020	

ITA Ferrovie S.p.A.
 Direzione Generale
 UO Infrastrutture Sud
 Dott. Ing. Paolo Tiberti
 Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 1187/8

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

INDICE

1	PREMESSA.....	3
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	3
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
5	FASE CONOSCITIVA.....	8
5.1	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	8
5.2	AZIONI AGENTI.....	10
5.2.1	<i>CARICHI PERMANENTI – SPINTA DEL TERREN</i>	10
5.2.2	<i>CARICHI MOBILI DA TRAFFICO STRADALE</i>	10
5.2.3	<i>CARICHI ECCEZIONALI - URTO DA TRAFFICO VEICOLARE</i>	10
5.2.4	<i>VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA</i>	11
5.2.4.1	<i>Vita nominale</i>	11
5.2.4.2	<i>Classe d'uso</i>	11
5.2.4.3	<i>Periodo di riferimento</i>	11
5.2.4.4	<i>Parametri sismici</i>	11
5.3	APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA.....	15
5.3.1	<i>Stabilità globale</i>	17
6	COMBINAZIONI DI CARICO	18
7	PROGETTO E VERIFICA	19
7.1	DATI DI INPUT	19
7.2	FASI DI CALCOLO.....	21
7.3	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE.....	22
7.3.1	<i>Verifica in assenza di urto</i>	26

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</p> <p>OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</p>					
<p>RI12 – Opera di sostegno MU58</p> <p>Relazione di calcolo</p>	<p>COMMESSA</p> <p>RS3T</p>	<p>LOTTO</p> <p>30 D 78</p>	<p>CODIFICA</p> <p>CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>MU 58 0 0 001</p>	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>2 di 27</p>

7.3.2 *Verifica in presenza di urto*.....27

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 Vallelunga – Caltanissetta Xirbi (Lotto 3b).

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione sono illustrati i calcoli e le verifiche dell'opera di sostegno MU58, che si sviluppa dalla progr. 25+026.70 km alla progr. 25+349.35 km circa della linea.

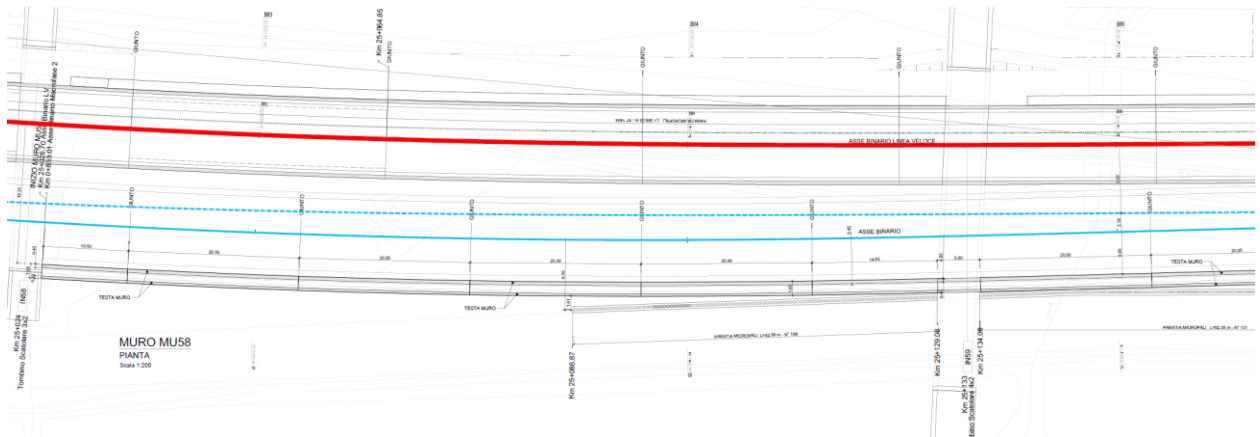


Figura 1-1 - Pianta MU58_a.

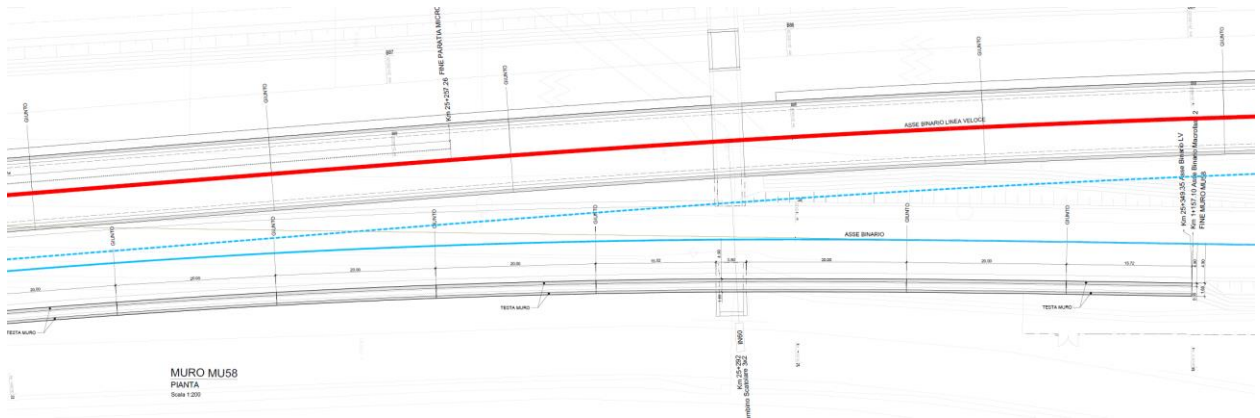


Figura 1-2 - Pianta MU58_b.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	R112 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

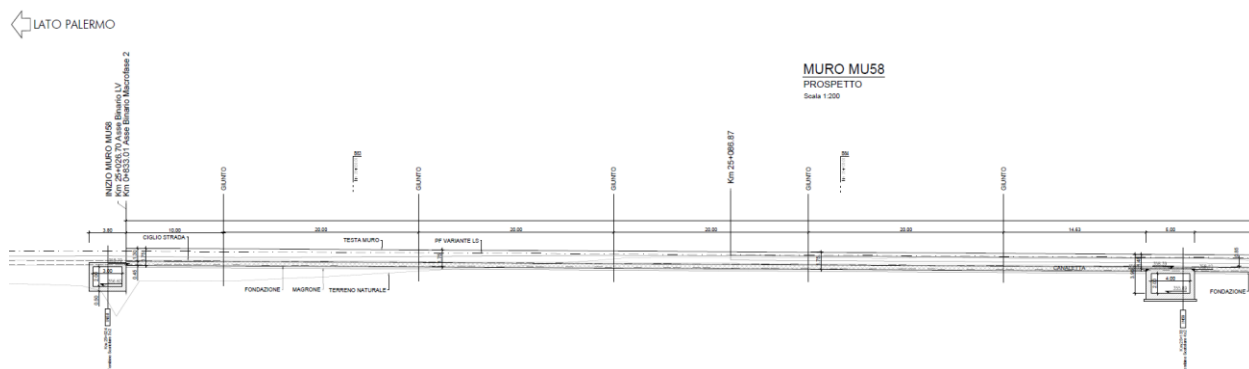


Figura 1-3 - Prospetto MU58_a.

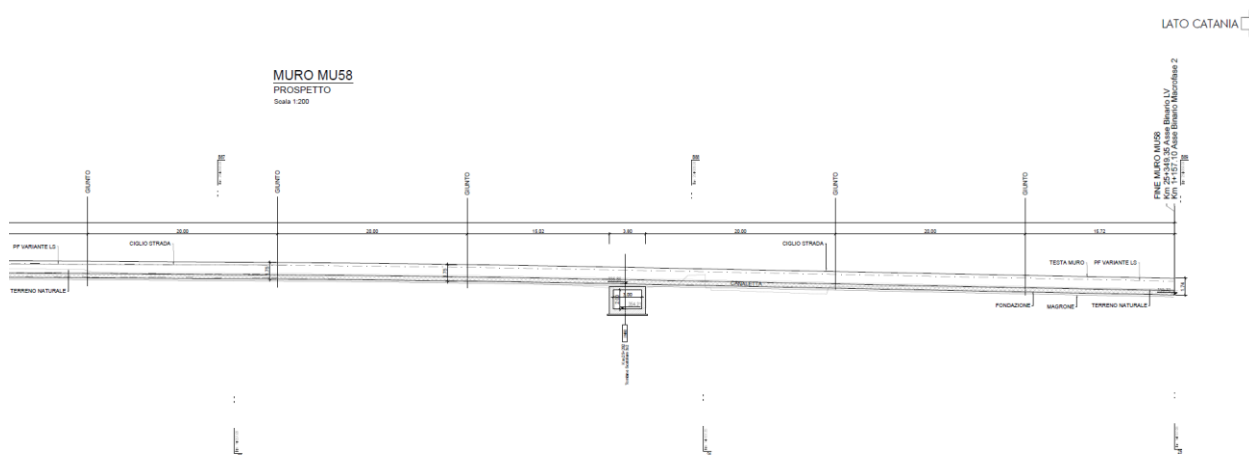


Figura 1-4 Prospetto MU58_b.

Tra le progressive 25+026.70 km ÷ 25+086.87 km è presente una canaletta di altezza pari a 1.40 m e larghezza 1.65 m.

Tra le progressive 25+086.87 e 25+186.55 è inoltre presente una paratia di micropali adiacente all'elemento, di diametro pari a 300 mm e interasse di 40 cm, armata con tubolare ϕ 273, spessore 10 mm. La lunghezza dei micropali è pari a 9.20 m.

Si riportano di seguito le sezioni rappresentative:

RI12 – Opera di sostegno MU58

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 58 0 0 001	B	5 di 27

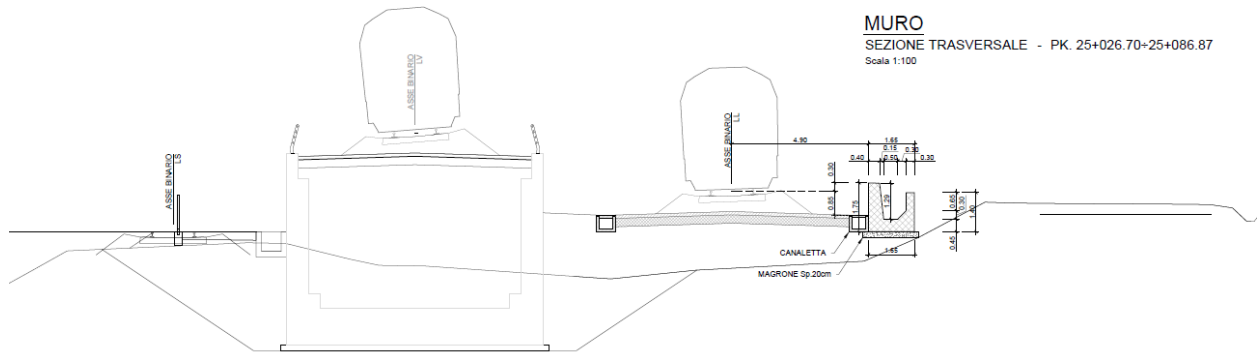


Figura 1-5 Sezione trasversale MU58 – pk 25+026.70 ÷25+086.87.

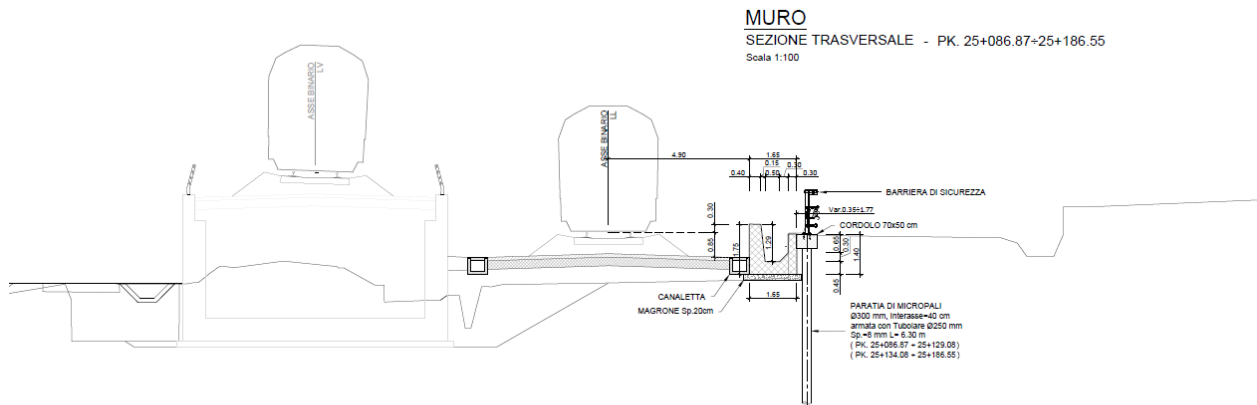


Figura 1-6 Sezione trasversale MU58 – pk 25+086.87 ÷25+186.55.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si illustrano le soluzioni progettuali relative alle opere di sostegno definitive facente parte dei lavori di costruzione del nuovo collegamento ferroviario Palermo-Catania (Lotto 3).

L'opera di sostegno in esame consiste in una paratia di micropali di diametro 300 mm e interasse 40 cm. Questi sono armati con tubolare $\phi 273$ mm, spessore 10 mm, lunghezza 9.20 m.

In accordo con la Normativa vigente, al fine di valutare i parametri di azione sismica dell'area, si utilizzano le seguenti coordinate: lat = 37.722753 e long.= 13.670219

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

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2

RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	R112 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Strutture di sostegno provvisionali

Calcestruzzo per micropali	
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 275 JR
Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 430 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	cfr. 4.2.4 a 4.2.8 del D.M. 17/01/18

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

5 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.

5.1 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica: Si riportano di seguito i terreni su cui poggiano i muri di sostegno lungo il tracciato, con i parametri fisici e meccanici ad essi assegnati. Da un'analisi dei dati a disposizione emerge che lo strato di terreno sul quale verrà impostato il piano di posa della fondazione dei muri di sostegno è caratterizzato dai valori dei parametri di calcolo riportati in Tabella. Per quanto riguarda i parametri meccanici assunti nel calcolo si sono considerati i valori medi dell'intervallo di variabilità riportato nel profilo geotecnico.

Lo strato di coltre risulta inferiore a 1m, pertanto viene trascurato.

U.G.	da	a	γ	c'	c_u	ϕ'	E_{op}	ν
[-]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
a2	0	10	19	20	75	25	55	0.3
TRV	10	40	21	29.5	200	21.5	200	0.3

in cui:

γ = peso specific del terreno;

c'_k = coesione efficace;

c_u = coesione non drenata;

ϕ'_k = angolo d'attrito efficace;

E'_{op} = modulo di Young

La falda è posta ad una profondità pari a 4.00 metri dal piano campagna.

RI12 – Opera di sostegno MU58

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 58 0 0 001	B	9 di 27

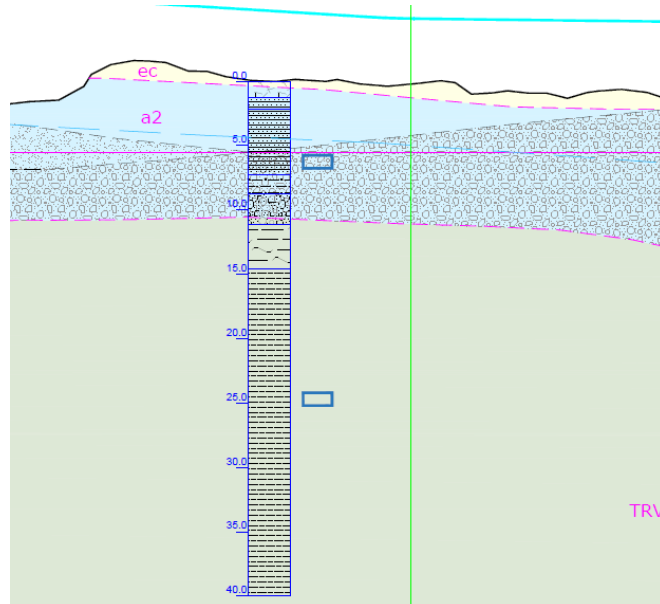


Figura 5-1 Stralcio profilo geotecnico.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

5.2 AZIONI AGENTI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo dell'opera, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

5.2.1 CARICHI PERMANENTI – SPINTA DEL TERREN

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

5.2.2 CARICHI MOBILI DA TRAFFICO STRADALE

Per quanto attiene il sovraccarico variabile dovuto al carico stradale si applica il carico verticale statico di 20 kPa che, in condizioni sismiche, è stato ridotto al 20% (4 kPa).

5.2.3 CARICHI ECCEZIONALI - URTO DA TRAFFICO VEICOLARE

Per i muri di sostegno si è considerata l'azione causata da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza. La normativa prevede una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia (il più piccolo dei due valori), ed applicata su una linea lunga 0,5 m.

Considerando il valore della forza riferito ad 1 m di lunghezza dell'opera, si ha:

$$H = \min [h_{\text{barr}} - 0.1; 1.00 \text{ m}] = 1.00 \text{ m} \quad \text{altezza di applicazione della forza}$$

$$F = 100 \text{ kN/m} \quad \text{forza in testa alla paratia}$$

$$M = F \cdot 1 \text{ (m)} = 100 \text{ kNm/m} \quad \text{momento in testa alla paratia}$$

Il coefficiente parziale di sicurezza per la combinazione di carico agli SLU per l'urto di veicolo in svio deve essere assunto unitario.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

5.2.4 VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA

5.2.4.1 Vita nominale

La vita nominale di un’opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel presente caso l’opera viene calcolata con una vita nominale pari a 75 anni, trattandosi di una strada statale.

5.2.4.2 Classe d’uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un’interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l’opera appartiene alla seguente classe d’uso:

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l’ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d’uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Il coefficiente d’uso è pari a 1.50.

5.2.4.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione al periodo di riferimento V_R ricavato, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d’uso C_u .

Pertanto $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$ anni.

5.2.4.4 Parametri sismici

Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l’uno in funzione dell’altro, mediante l’espressione:

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

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 5-1 – Probabilità di superamento al variare dello stato limite considerato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

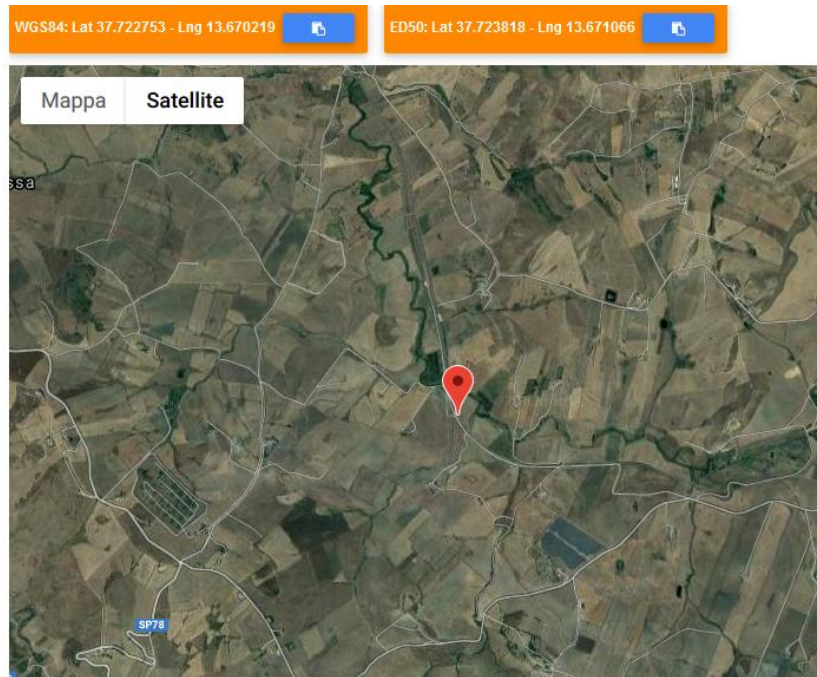





Tabella 5-2 – Localizzazione del sito ove sorgeranno le opera.

Da cui si ottiene la seguente tabella:

Stati limite

	Classe Edificio				
	III. Affollamento significativo...				
	Vita Nominale	75			
	Interpolazione	Media ponderata			
CU = 1.5					
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	T_c^* [s]	
Operatività (SLO)	68	0.045	2.441	0.275	
Danno (SLD)	113	0.054	2.470	0.298	
Salvaguardia vita (SLV)	1068	0.108	2.656	0.378	
Prevenzione collasso (SLC)	2193	0.130	2.711	0.405	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	112.5				

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018. I terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria B. In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 5-3 – Categorie topografiche.

L'area interessata risulta classificabile come T1.

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_S S_T$ e di C_C in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle di seguito riportate:

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 5-4 – Espressioni di S_S e C_C .

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 5-5 – Valori massimi dei coefficienti di amplificazione topografica S_T .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a $S_s = 1.20$ e $C_c = 1.340$

valore del coefficiente di amplificazione topografica è posto pari a $S_T = 1.0$

Dalla sezione dedicata al calcolo dei parametri sismici di base del programma “GeoStru”, si ricavano i seguenti parametri dello spettro di risposta relativo al sito più gravoso.

Coefficienti sismici

 Tipo Paratie NTC 2018

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) us (m)

 6.3  0.03

 Cat. Sottosuolo B

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,42	1,40	1,34	1,32
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.037	0.044	0.088	0.106
kv	--	--	--	--
Amax [m/s ²]	0.529	0.640	1.273	1.526
Beta	0.680	0.680	0.680	0.680

Tabella 5-6 – Coefficienti sismici.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

5.3 APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA

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

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

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

- combinazione 1: A1 + M1 + R1
- combinazione 2: A2 + M2 + R1.

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

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

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

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

Il corretto dimensionamento nei confronti degli SLU assicura che gli spostamenti dell'opera siano compatibili con le esigenze di funzionalità della stessa; pertanto, trattandosi di opere 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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	R112 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

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.

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

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).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

5.3.1 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:

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

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.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

6 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
 - Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
 - Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
 - Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
 - Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
 - Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]
- Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:
- $$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Per le verifiche si deve tenere conto dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze.

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_F')	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 6-1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6-2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Le combinazioni sismiche sono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con gli opportuni coefficienti parziali γ_R .

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B	FOGLIO 19 di 27

7 PROGETTO E VERIFICA

7.1 Dati di input

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

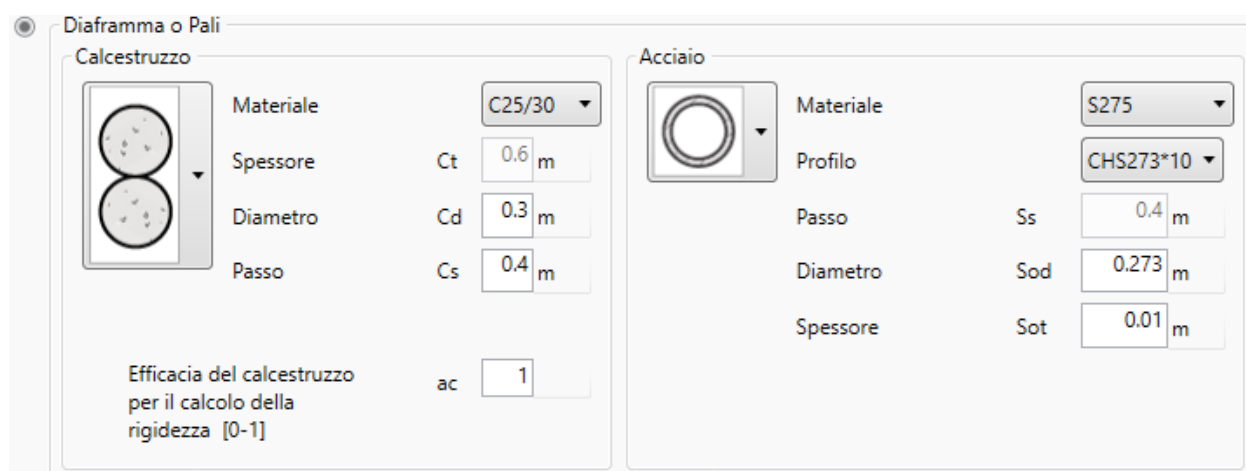


Figura 7-1. Caratteristiche micropali.

Tipologia struttura di sostegno	micropali $\phi 300$ ad interasse 0.40 m
Altezza totale paratia	$H_{\text{tot}} = 9.20$ m
Altezza di scavo	$H = 2.60$ m
Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)	$H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 3.10$ m
Inclinazione del piano campagna a monte	0°
Inclinazione del piano campagna a valle	0°
Sovraccarichi permanenti a monte	$g = 0$ kPa
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 20$ kPa
Carico eccezionale urto, F (forza orizzontale)	$F = 100$ kN/m
Carico eccezionale urto, M (momento)	$M = 100$ kN

Tabella 7-1. Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA					
	RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU 58 0 0 001	REV. B

Terreno	z_f	γ	c'	ϕ	E	cu
	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[kPa]
<i>a2</i>	-	19	20	25	55	75

Tabella 7-2. Parametri geotecnici di calcolo

Terreno	Condizione	Categoria sottosuolo	Categoria topografica	$a_g(g)$	S_s	a_{max}/g
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
<i>a2</i>	SLV	B	T1	0.108	1.2	0.127

Tabella 7-3. Parametri per l'analisi sismica

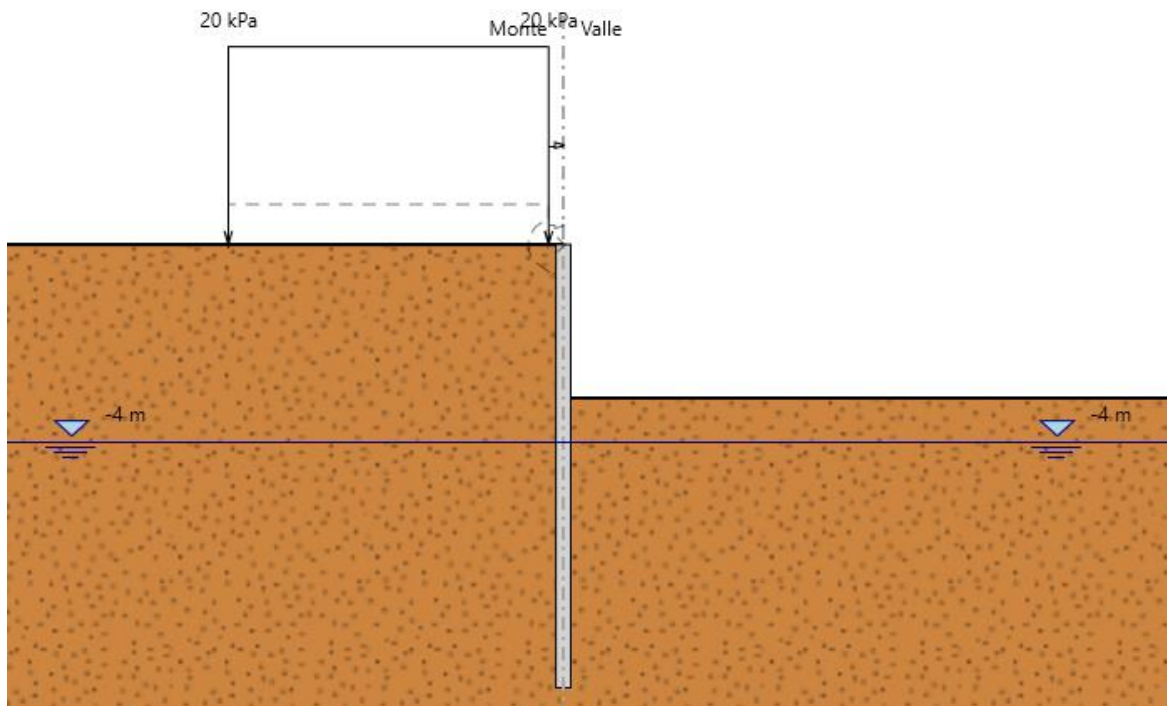


Figura 7-2. Schema di calcolo paratia

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) OPERE DI SOSTEGNO DI LINEA</p>					
<p>RI12 – Opera di sostegno MU58 Relazione di calcolo</p>	<p>COMMESSA RS3T</p>	<p>LOTTO 30 D 78</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO MU 58 0 0 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 21 di 27</p>

7.2 Fasi di calcolo

- 1) Geostatico e carico del versante a monte della paratia di pali, quota di falda a 4.00m dal p.c.;
- 2) Inserimento della paratia di micropali;
- 3) Ribasso al fine di raggiungere la “Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2)”, posizione della falda a monte a z=-4.00m dal p.c.;
- 4) Applicazione carico eccezionale dovuto a urto veicolare;
- 5) Applicazione azione sismica.

7.3 Risultati delle analisi e verifiche

A seguire si riportano i diagrammi del momento flettente e del taglio ottenuti dalle analisi.

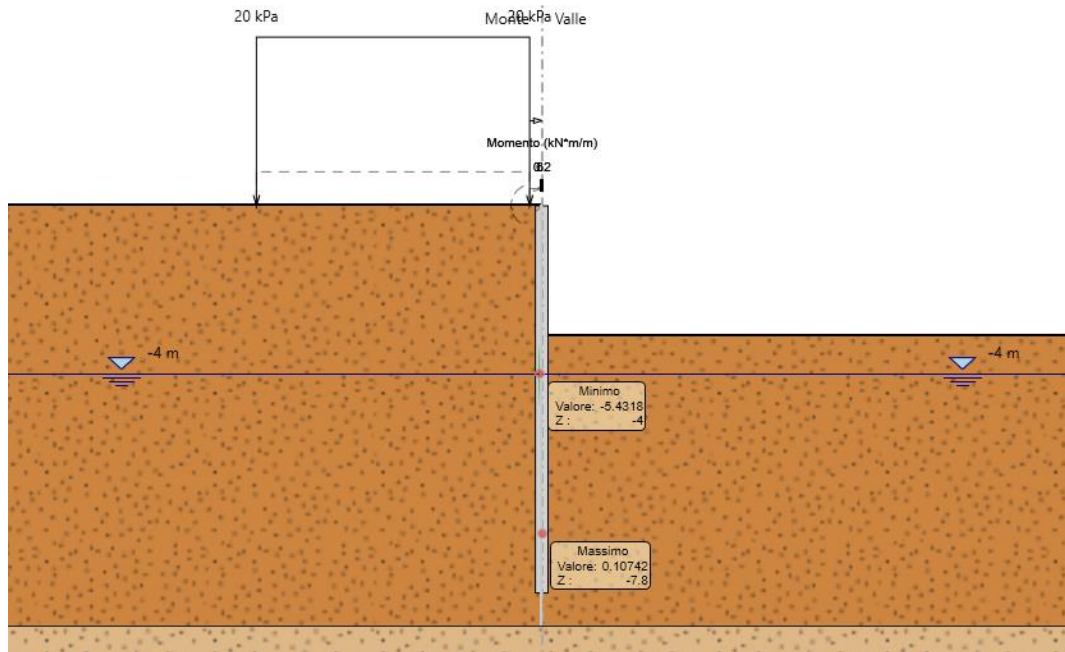


Figura 7-3 - Momento SLU – assenza di urto.

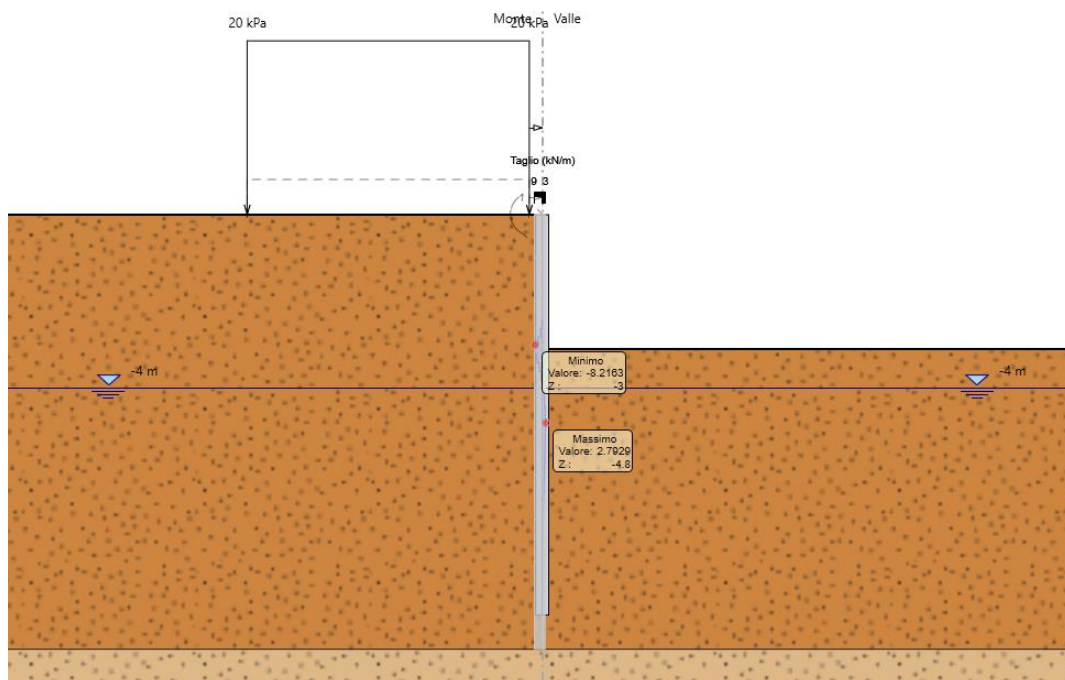


Figura 7-4 - Taglio SLU – assenza di urto.

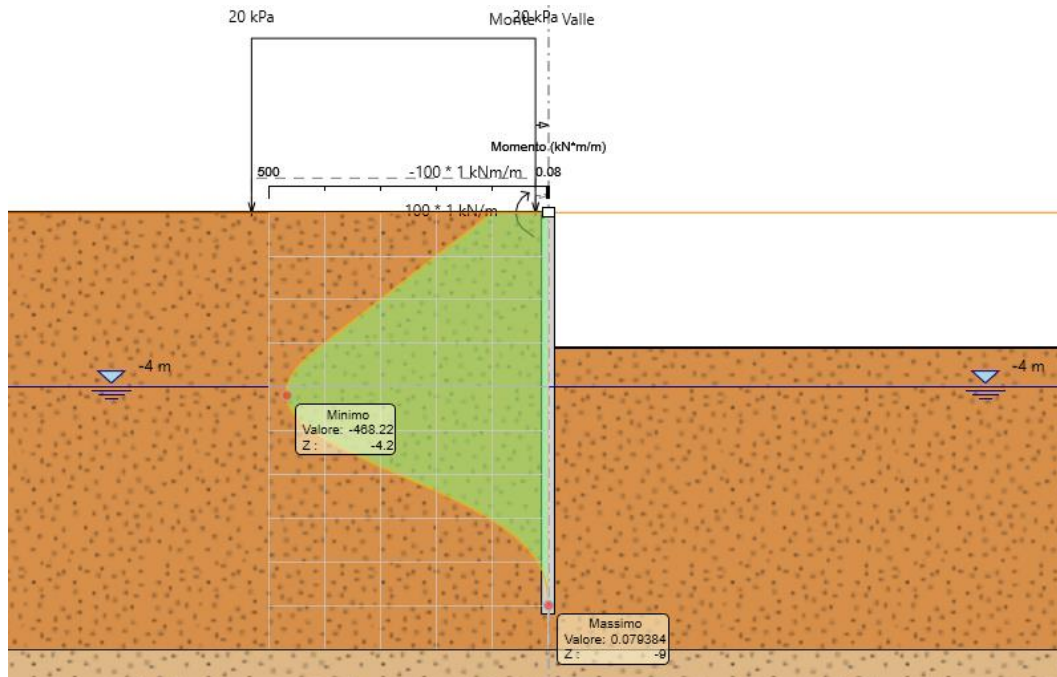


Figura 7-5 - Momento SLU – presenza di urto.

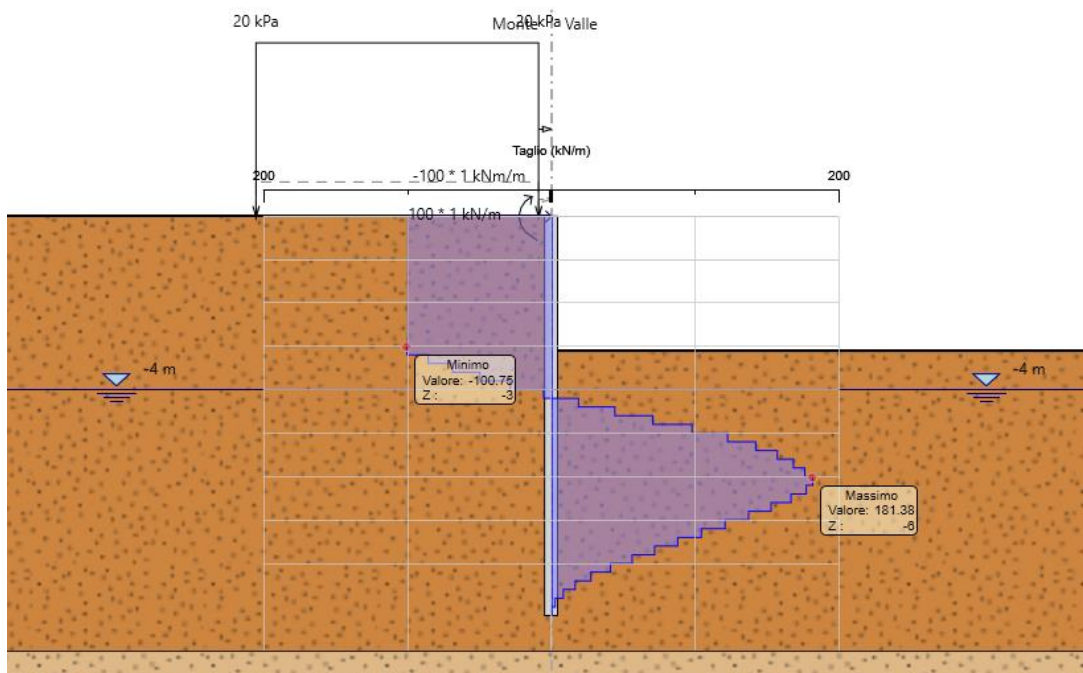


Figura 7-6 - Taglio SLU – presenza di urto.

RI12 – Opera di sostegno MU58

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 58 0 0 001	B	24 di 27

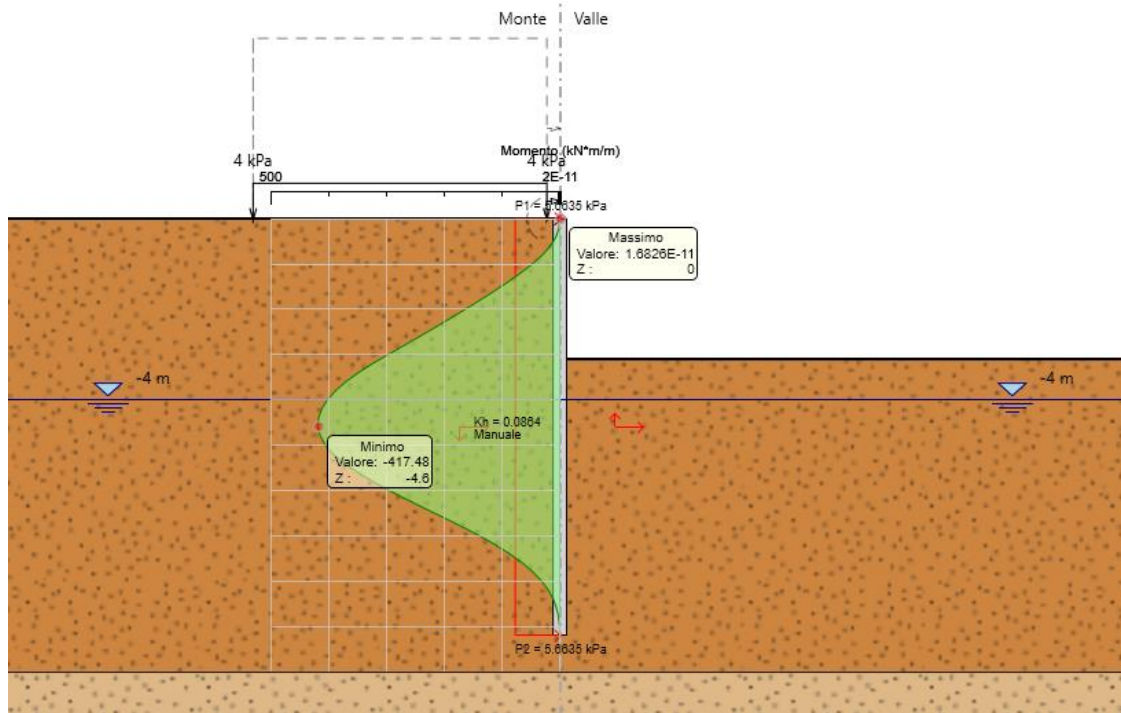


Figura 7-7 - Momento SLV

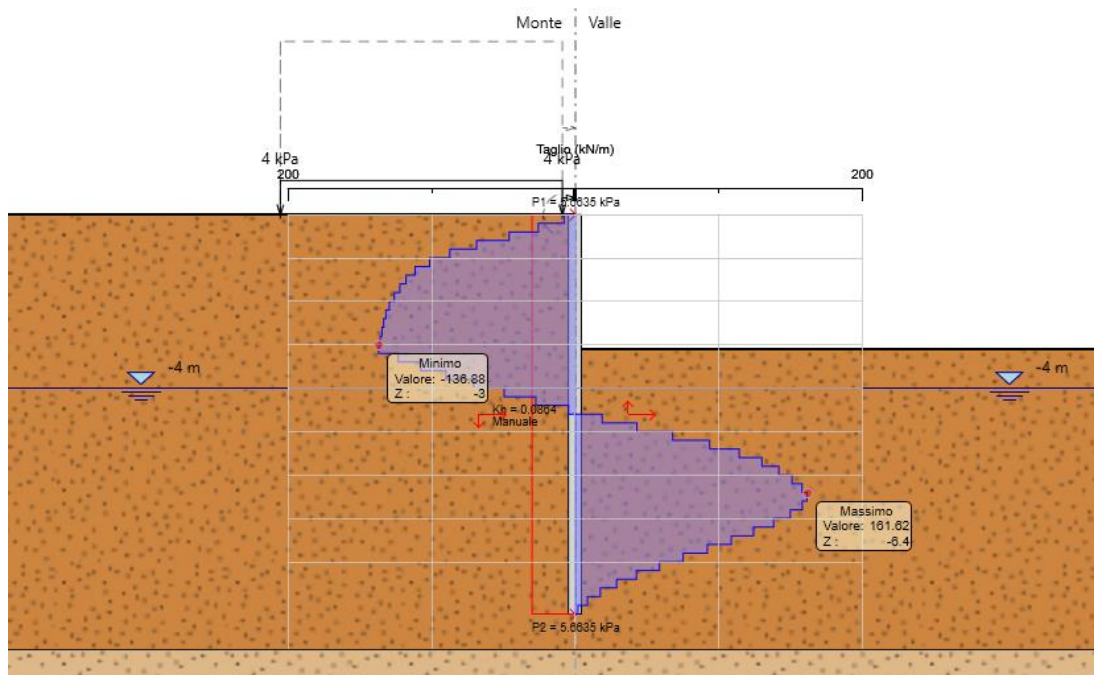


Figura 7-8 - Taglio SLV

RI12 – Opera di sostegno MU58
Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 58 0 0 001	B	25 di 27

combinazione	Sollecitazioni a metro lineare				Sollecitazioni sul singolo micropalo	
	fase	M_{max}	$z (M_{max})$	V	M	V
(-)	(-)	(kNm/m)	(m)	(kN/m)	(kNm)	(kN)
SLU-STR	2	5.43	4	8.21	2.17	3.3
SLU-STR-urto	3	468.22	4.2	181.38	187.28	72.55
SLV- STR	4	417.48	4.6	161.62	167	64.64

Figura 7-9: Modello 01: Riepilogo sollecitazioni.

Diametro esterno nominale	D	273.00 [mm]
Spessore nominale	T	10.00 [mm]
Diametro interno nominale	d	253.00 [mm]

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Area della sezione trasversale	A	82.6 [cm ²]
Momento d'inerzia	I	7154 [cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	9.31 [cm]
Modulo di resistenza elastico	$W_{el,yy}$	524 [cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,yy}$	692 [cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I_t	14308 [cm ⁴]
Modulo di torsione	C_t	1048 [cm ³]

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f_y	275 [MPa]
Coefficiente ϵ	ϵ	0.92 [-]
Classificazione		
Diametro	d	273.00 [mm]
Spessore	t	10.00 [mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	27.30 [-]
Classificazione della sezione		CLASSE 1

RI12 – Opera di sostegno MU58

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 58 0 0 001	B	26 di 27

Relazione di calcolo

7.3.1 Verifica in assenza di urto

VERIFICHE DI RESISTENZA		per sezioni di classe 1,2	
$\gamma_{M0} =$	1.05		
$\gamma_{M1} =$	1.1		
Sollecitazioni di progetto			
	$N_{ed} =$	0	KN
	$M_{ed} =$	167	KNm
	$V_{ed} =$	64.64	KN
Resistenze di calcolo			
	$N_{c,rd} =$	2163.96	KN
	$M_{c,rd} =$	181.24	KNm
	$V_{c,rd} =$	795.37	KN
Condizione			
$V_{ed} \leq 0.5 \cdot V_{c,rd}$	SI	\Rightarrow	taglio non influenza la resistenza a flessione
		\Rightarrow	$\rho = (2V_{cd}/V_{c,rd}-1)^2 = 0$
Compressione	$N_{ed}/N_{c,rd} =$	0	≤ 1
Flessione	$M_{ed}/M_{c,rd} =$	0.921409	≤ 1
Taglio	$V_{ed}/V_{c,rd} =$	0.08127	≤ 1
Flessione e Taglio			
	$M_{v,rd} = (1-\rho)M_{c,rd} =$	181.2442	KNm
	$M_{ed}/M_{v,rd} =$	0.921409	≤ 1
Presso-Flessione			
	$n = N_{ed}/N_{c,rd} =$	0	
	$M_{N,rd} = 1.04 \cdot M_{c,rd} \cdot (1-n^{1.7}) =$	188.494	KNm
	$M_{ed}/M_{N,rd} =$	0.921409	≤ 1
Presso-Flessione e Taglio			
	$M_{N,rd} = 1.04 \cdot M_{v,rd} \cdot (1-n^{1.7}) =$	188.494	KNm
	$M_{ed}/M_{N,rd} =$	0.921409	≤ 1

RI12 – Opera di sostegno MU58

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	CL	MU 58 0 0 001	B	27 di 27

Relazione di calcolo

7.3.2 Verifica in presenza di urto

VERIFICHE DI RESISTENZA		per sezioni di classe 1,2	
$\gamma_{M0} =$	1		
$\gamma_{M1} =$	1		
Sollecitazioni di progetto			
	$N_{ed} =$	0	KN
	$M_{ed} =$	187.288	KNm
	$V_{ed} =$	72.552	KN
Resistenze di calcolo			
	$N_{c,rd} =$	2272.16	KN
	$M_{c,rd} =$	190.31	KNm
	$V_{c,rd} =$	835.14	KN
Condizione			
$V_{ed} \leq 0.5 \cdot V_{c,rd}$	SI	\Rightarrow	taglio non influenza la resistenza a flessione
		\Rightarrow	$\rho = (2V_{cd}/V_{c,rd}-1)^2 = 0$
Compressione	$N_{ed}/N_{c,rd} =$	0	≤ 1
Flessione	$M_{ed}/M_{c,rd} =$	0.984139	≤ 1
Taglio	$V_{ed}/V_{c,rd} =$	0.086874	≤ 1
Flessione e Taglio			
	$M_{v,rd} = (1-\rho)M_{c,rd} =$	190.3064	KNm
	$M_{ed}/M_{v,rd} =$	0.984139	≤ 1
Presso-Flessione			
	$n = N_{ed}/N_{c,rd} =$	0	
	$M_{N,rd} = 1.04 \cdot M_{c,rd} \cdot (1-n^{1.7}) =$	197.9187	KNm
	$M_{ed}/M_{N,rd} =$	0.984139	≤ 1
Presso-Flessione e Taglio			
	$M_{N,rd} = 1.04 \cdot M_{v,rd} \cdot (1-n^{1.7}) =$	197.9187	KNm
	$M_{ed}/M_{N,rd} =$	0.984139	≤ 1