

Nuova S.S.195 "Sulcitana" Tratto Cagliari - Pula
Collegamento con la S.S.130 e aeroporto di Cagliari Elmas
Opera Connessa Nord

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: RTI GPI-IRD-SAIM-HYPRO

<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1541</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 settore a-b-c</p> <p><i>Ing. Paolo Orsini</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 13817</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> <p><i>Ing. Vincenzo Secreti</i> Ordine Ingegneri Provincia di Crotone n. 412</p>	<p>GRUPPO DI PROGETTAZIONE (Mandatario)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>IRD ENGINEERING (Mandante)</p> <p>SAIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna (Mandante)</p> <p>HYpro srl</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE (DPR207/10 ART 15 COMMA 12): <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>		
<p>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Michele Coghe</i></p>		

OPERE D'ARTE MINORI
MURO DI SOSTEGNO IN SX PROG. 8+542
RELAZIONE DI CALCOLO

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO LIV. ANNO DPCA0150 D 23	P00OS06STRRE01_A		
	CODICE ELAB. P 0 0 O S 0 6 S T R R E 0 1	A	-
D			
C			
B			
A	Emissione	Giugno '23	Belà
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDDATTO
			VERIFICATO
			APPROVATO

1. INDICE

1.	<u>INDICE.....</u>	<u>1</u>
2.	<u>PREMESSA.....</u>	<u>2</u>
3.	<u>NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....</u>	<u>3</u>
4.	<u>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</u>	<u>3</u>
5.	<u>DESCRIZIONE DELL'OPERA.....</u>	<u>4</u>
6.	<u>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</u>	<u>6</u>
6.1.	AZIONI SISMICHE.....	7
6.1.1.	<i>Accelerazione massima in sito e coefficienti sismici.....</i>	7
7.	<u>CRITERI DI VERIFICA.....</u>	<u>8</u>
8.	<u>METODI DI ANALISI E VERIFICHE</u>	<u>10</u>
8.1.	METODO DI CALCOLO	10
8.2.	CONDIZIONI DI CARICO	10
8.2.1.	<i>Carichi permanenti.....</i>	10
8.2.2.	<i>Carichi accidentali.....</i>	10
8.2.3.	<i>Carichi sismici.....</i>	10
8.2.4.	<i>Carichi dovuti all'urto dei veicoli in svio</i>	11
8.3.	RISULTATI DELLE ANALISI	12
8.3.1.	<i>Sezione tipo 1</i>	12
8.4.	VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE	17
8.4.1.	<i>Verifiche strutturali</i>	17
8.4.2.	<i>Verifiche geotecniche.....</i>	25
9.	<u>ALLEGATI DI CALCOLO</u>	<u>32</u>
9.1.1.	<i>Sezione tipo 1</i>	32

2. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante della documentazione per il Progetto Definitivo per la SS195 "Sulcitana", tratto Cagliari – Pula, Opera Connessa Nord.

La presente relazione di calcolo illustra il dimensionamento e le verifiche geotecniche e strutturali del muro di sostegno OS06 tra la p.k. 8+541.80 e la p.k. 8+566.80 della SS195 "Sulcitana", tratto Cagliari – Pula, dell' Opera Connessa Nord.

3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- [1]. Decreto Ministero Infrastrutture 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- [2]. Circolare n.7 del 21 gennaio 2019 del C.S.LL.PP. Ministero Infrastrutture e Trasporti: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- [3]. UNI EN 1997-1:2013: Eurocode 7 – Geotechnical design - Part 1: General rules
- [4]. UNI EN 1997-1:2007: Eurocode 7 – Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo fondazione ed elevazioni conforme UNI EN 206-1

- Classe di resistenza: C35/45
- Classe di esposizione: XC2
- Diametro massimo inerti: 30mm
- Rapporto a/c ≤ 0.50

Calcestruzzo pali di fondazione conforme UNI EN 206-1

- Classe di resistenza: C35/45
- Classe di esposizione: XC2
- Diametro massimo inerti: 30mm
- Rapporto a/c ≤ 0.60

Calcestruzzo magro

- Dosaggio: 150 kg/m³

Acciaio armatura

- Acciaio ordinario: B450C
- Tensione caratteristica a rottura f_{tk} : 540MPa
- Tensione di snervamento, f_{yk} : 450MPa

5. DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera OS06 si estende dal km 8+541.80 e il km 8+566.80 per una lunghezza complessiva pari a 25.0m. La soluzione progettuale prevede la realizzazione un muro di sostegno su pali con altezza del paramento pari a 9.63m e lunghezza dei pali pari a 25.0m.

Il calcolo del muro OS06 in destra (pk 8+541 e pk 8+567) è stato eseguito con riferimento alla sezione "Tipo 1".

La sezione di tipo 1 è caratterizzata da una fondazione di spessore 1.2m, altezza del paramento di 9.60m e una larghezza di 5.5m. I pali della fondazione della sezione tipo 1 sono disposti a quinconce, hanno un diametro pari a 1.0m e una lunghezza di 25.0m, un interasse trasversale di 4.0m e un interasse longitudinale di 3.0m.

Tabella 5.1: OS06 – Caratteristiche geometriche dei muri analizzati

Sezioni di calcolo	Hparamento_calcolo [m]	Hfondazione [m]	Lfondazione [m]
Tipo 1	9.6	1.2	5.5

Nella seguente tabella sono riassunte le caratteristiche della sezione del muro in corrispondenza della progressiva indicata e la rispettiva altezza della sezione di calcolo utilizzata per l'analisi.

Tabella 5.2: OS06 – Caratteristiche geometriche dei muri analizzati

Sezioni p.k.	Sezioni Tipo	Hparamento [m]	Hfondazione [m]	Lfondazione [m]
8+541 – 8+567	1	9.6	1.2	5.5

Nelle figure successive vengono riportate le sezioni trasversali e in piante delle sezioni tipo 1. Per i dettagli si rimanda all' elaborato grafico (P00OS06STRDI01_B).

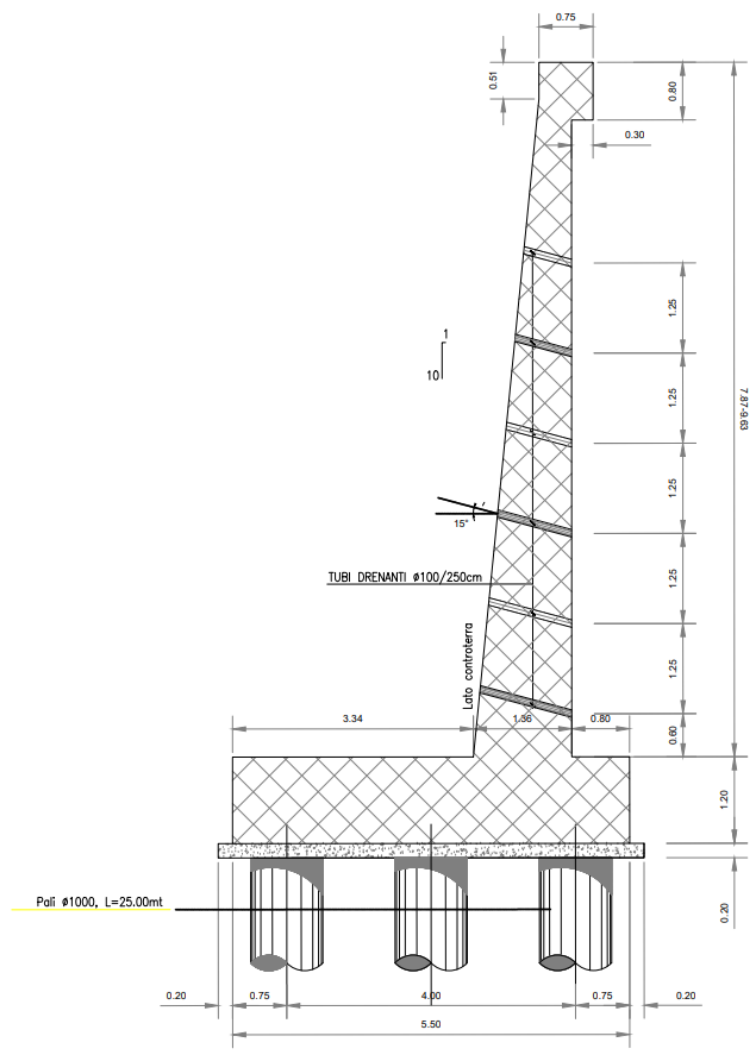


Figura 5-1: Sezione tipologica muro di sostegno su pali "Tipo 1".

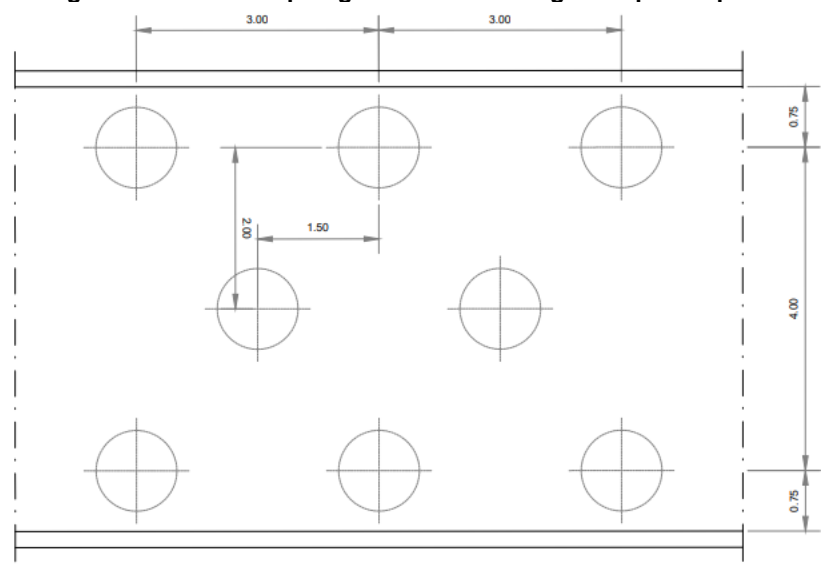


Figura 5-2: Pianta muro di sostegno su pali "Tipo 1".

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Le verifiche geotecniche dell'opera in oggetto (OS06) sono state eseguite facendo riferimento ai parametri geotecnici caratteristici riportati nella Relazione geotecnica e nel Profilo geotecnico allegato al progetto. Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei parametri geotecnici per i terreni presenti lungo il tracciato:

Tabella 3: Parametri geotecnici caratteristici.

DESCRIZIONE	UNITÀ GEOTECNICA	γ	c'	φ'	E
		(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(MPa)
Deposito ghiaioso	UG1a	20-22	0-5	34-38	40-100
Deposito sabbioso	UG1b	19-20	5-15	32-36	20-80
Deposito limoso-argilloso	UG1c	19-20	15-20	26-28	10-30
Deposito sabbioso-argilloso	UG2	18-20	0-5	28-32	20-30

dove:

- γ peso di volume
- φ' angolo di attrito efficace
- c' coesione efficace
- E modulo elastico

La falda è stata considerata alla profondità di 7.0m dal piano di posa delle fondazioni. Si riporta la stratigrafia di calcolo e i parametri utilizzati per le verifiche strutturali e geotecniche:

Tabella 4: Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche.

DESCRIZIONE	UNITÀ GEOTECNICA	Spessore strato	γ	c'	φ'	E
		(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(MPa)
Deposito ghiaioso	UG1a	5	20	0	34	40
Deposito sabbioso	UG1b	20	19	0	32	20

6.1. AZIONI SISMICHE

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dall'opera in esame (OS06) si rimanda alla Relazione Sismica del Progetto Definitivo della SS 195 "Sulcitana", del tratto Cagliari-Pula, dell'Opera Connessa Nord.

6.1.1. ACCELERAZIONE MASSIMA IN SITO E COEFFICIENTI SISMICI

L'azione sismica di progetto per l'opera OS06, ai sensi della normativa vigente italiana (DM del 17/01/2018), è stata definita calcolando i parametri sismici necessari direttamente per il sito in esame.

Le coordinate di riferimento sono: latitudine 39.214903 e longitudine 9.109499.

Nella tabella seguente si riportano i valori dell'accelerazione massima su suolo roccioso (a_g) e dei parametri spettrali (F_0 , T^*_c) per lo SLV.

Tabella 6-1 Parametri spettrali del sito

a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [sec]
0.598	2.976	0.370

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia e alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i parametri S_S ed S_T .

Il sito dell'opera in esame è stato classificato nella categoria di suolo B, alla quale corrisponde un valore del coefficiente S_S pari a 1.2, e rientra nella categoria topografica T1, per la quale il valore del coefficiente topografico S_T è pari a 1.0.

L'accelerazione massima orizzontale al sito (a_{max}) è calcolata come prodotto dell'accelerazione su suolo roccioso e dei fattori di amplificazione:

$$a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

Per il caso in esame l'accelerazione massima orizzontale al sito per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) risulta pari a:

$$a_{max} = 0.587 \cdot 1.20 \cdot 1.00 = 0.704g$$

I coefficienti sismici orizzontale e verticale sono espressi come:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Per le opere che non subiscono spostamenti relativi rispetto al terreno, come ad esempio i muri su pali, il coefficiente riduttivo dell'accelerazione sismica assume valore unitario: $\beta_m = 1.0$. Pertanto, i coefficienti sismici orizzontale e verticale adottati per le analisi sono i seguenti:

$$k_h = 0.704$$

$$k_v = 0.352$$

7. CRITERI DI VERIFICA

Nel presente capitolo sono descritti i metodi, le assunzioni di calcolo e i parametri di progetto adottati per le verifiche geotecniche e strutturali delle opere in oggetto. Le verifiche sono state condotte secondo il metodo degli stati limite.

Le verifiche agli stati limite prevedono un approccio di tipo semiprobabilistico in base al quale le azioni e le resistenze di progetto sono definite sulla base dei valori caratteristici applicando i coefficienti parziali di seguito definiti:

Azioni: $F_d = (F_k \times \psi) \times \gamma_F$
 Proprietà del terreno: $X_d = X_k / \gamma_M$
 Resistenza del terreno: $R_d = R_k / \gamma_R$

Dove:

- F: indica genericamente un'azione,
- ψ : indica un fattore ≤ 1.0 che è definito nell'ambito della combinazione di carico;
- X: indica genericamente un parametro di resistenza del terreno;
- R: indica genericamente la resistenza limite calcolata;
- $\gamma_F, \gamma_M, \gamma_R$: indicano i coefficienti parziali.

Una volta definiti i parametri di progetto si verifica che valga la relazione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove:

- $E_d = F_k \times \psi \times \gamma_F$ [effetti delle azioni];
- $R_d = 1 / \gamma_R \times R_k$ ($F_k \times \psi \times \gamma_F, X_k / \gamma_M$) [resistenza del terreno].

Azioni e resistenze di progetto

Le verifiche dell'opera sono state condotte secondo l'approccio 2, considerando la combinazione:

- Combinazione 1 - (A1 + M1 + R3).

Le verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno, sono state condotte secondo l'approccio 1, considerando la combinazione:

- Combinazione 2 - (A2 + M2 + R2).

I coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno e per le azioni sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 7-1 Coefficienti parziali per le azioni (combinazioni statiche)

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale γ_F	EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.30	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.50	1.30

Tabella 7-2 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (combinazioni statiche)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi_k'$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c_k'	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.0	1.0

Tabella 7-3 Coefficienti parziali per le azioni (combinazioni sismiche)

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale γ_F	EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.00	1.00	1.00

Tabella 7-4 Coefficienti parziali per le resistenze (combinazioni sismiche)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan\phi_k'$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.0
Coesione efficace	c_k'	$\gamma_{c'}$	1.0	1.0
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.0
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.0	1.0

Tabella 7-5 Pali trivellati - coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Parametro	Coefficienti parziali		
	R1	R2	R3
Base	1.00	1.70	1.35
Laterale compressione	1.00	1.45	1.15
Totale compressione	1.00	1.60	1.30
Laterale trazione	1.00	1.60	1.25

Tabella 7-6 Pali trivellati - coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Parametro	Coefficienti parziali		
	R1	R2	R3
Carichi orizzontali	1.00	1.60	1.30

8. METODI DI ANALISI E VERIFICHE

8.1. METODO DI CALCOLO

Per le analisi dell'opera si è utilizzato il codice di calcolo MAX versione 16 di AZTEC Informatica. Il muro è stato schematizzato con elementi *beam* a sei gradi di libertà (due traslazioni ed una rotazione per nodo), mentre il terreno è stato schematizzato con una serie di molle distribuite lungo l'altezza del muro. Il procedimento iterativo di risoluzione del modello considera il comportamento non lineare del terreno (non linearità meccanica), mentre agli altri elementi assegna un comportamento elastico lineare.

In allegato si riportano i criteri e i parametri di calcolo, i risultati delle analisi e le caratteristiche geometriche dei muri su pali.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche delle sezioni di calcolo considerate per l'analisi.

Tabella 8.1: OS06 – Caratteristiche geometriche dei muri analizzati

Sezioni di calcolo	H _{paramento_calcolo} [m]	H _{fondazione} [m]	L _{fondazione} [m]
Tipo 1	9.6	1.2	5.5

Nei prossimi capitoli si riportano le analisi svolte per le sezioni di Tipo 1.

8.2. CONDIZIONI DI CARICO

8.2.1. CARICHI PERMANENTI

Peso proprio

Il peso proprio della struttura si ottiene moltiplicando i singoli spessori per il peso specifico del cemento armato, pari a 25kN/m³.

Spinta del terreno

La spinta del terreno è stata calcolata in condizioni di spinta a riposo.

8.2.2. CARICHI ACCIDENTALI

Come sovraccarico accidentale si è considerato il sovraccarico stradale, assunto pari a 20kPa, applicato a monte dell'opera di sostegno. In condizioni sismiche il carico accidentale è stato ridotto a 5 kPa.

8.2.3. CARICHI SISMICI

Per il caso in esame si ottengono i seguenti coefficienti sismici:

$$k_h = 0.704 = (a_g/g * \beta_m * S_T * S_S)$$

$$k_v = 0.352$$

Nelle analisi è stato assunto $\beta_m = 1.0$.

8.2.4. CARICHI DOVUTI ALL'URTO DEI VEICOLI IN SVIO

Ai fini della valutazione dei carichi derivanti dall'urto di veicoli in svio sulla barriera ancorata sulla sommità del cordolo di testa dell'opera in esame, il D.M. 17/01/2018 ai paragrafi 5.1.3.10 e 3.6.3.3.2. prevede l'applicazione di una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN agente a 1.0 m al di sopra del livello del piano di marcia.

Considerando che ogni paletto costituente la barriera può trasmettere al cordolo al massimo un momento corrispondente al suo momento di plasticizzazione M_{pl} , in fase di calcolo è stata assunta una forza orizzontale di collisione pari a $F_h = M_{pl} / 1.0$ m. In particolare:

$$M_{pl} = \alpha f_{yd} W_{pl} = 55 \text{ kNm}$$

con:

- $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 275 \text{ MPa} / 1.05 = 261.9 \text{ MPa}$, tensione di snervamento di progetto;
- $W_{pl} = 132.7 \text{ cm}^3$, modulo di resistenza plastico della sezione;
- $\alpha = 1.5$, coefficiente di amplificazione, in accordo con l'Eurocodice 2.

Pertanto, la forza orizzontale di collisione impiegata in fase di calcolo risulta essere pari a:

$$F_h = 55 \text{ kN.}$$

Secondo quanto indicato nel cap. 3.6 delle NTC18, in caso di urto deve essere considerata la combinazione di carico eccezionale.

8.3. RISULTATI DELLE ANALISI

8.3.1. SEZIONE TIPO 1

Di seguito si riporta l'involuppo delle sollecitazioni del paramento nella sezione in esame.

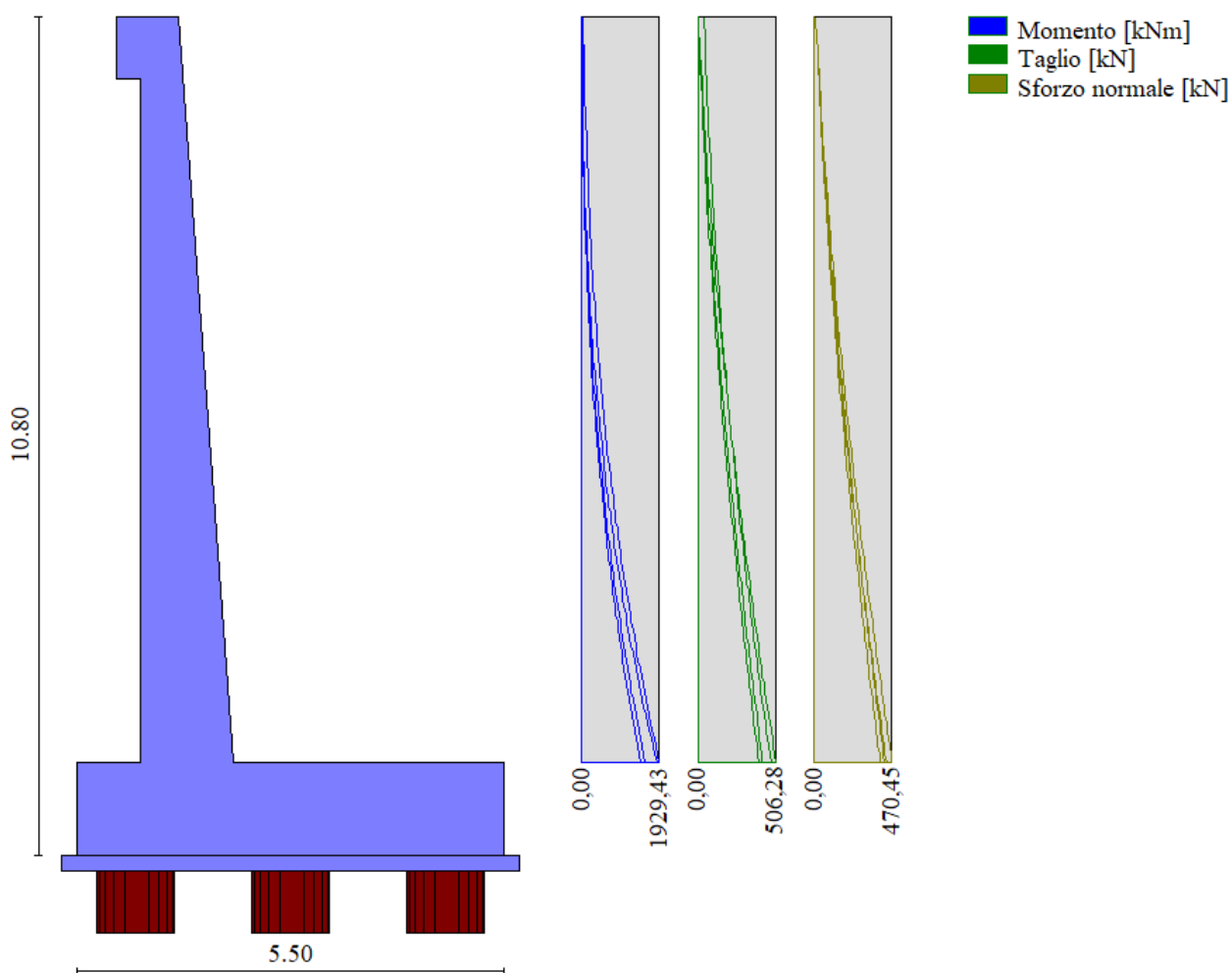


Figura 8-1: Involuppo delle sollecitazioni del paramento del muro

I contour delle sollecitazioni sulla fondazione del muro in esame, per le combinazioni di carico più sfavorevoli, sono riportati a seguire.

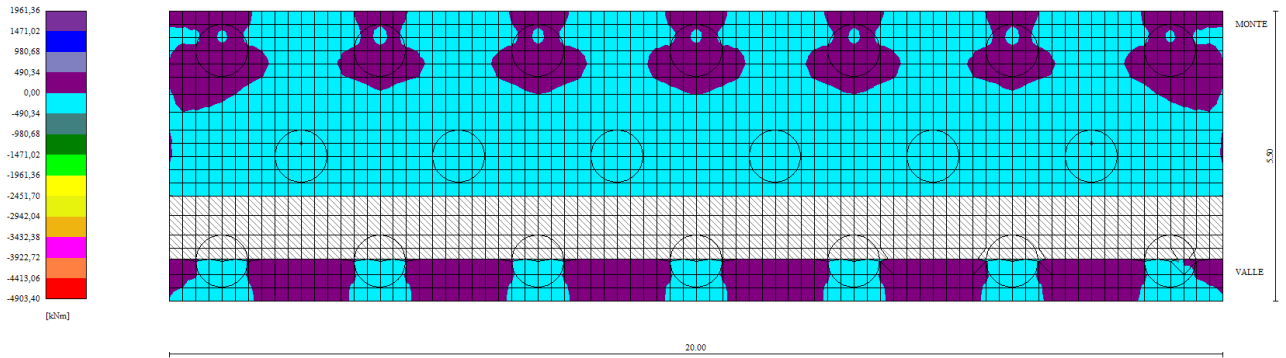


Figura 8-2: Mxx sulla fondazione dei muri – Comb. 2 – Mxx,max = 351 kN

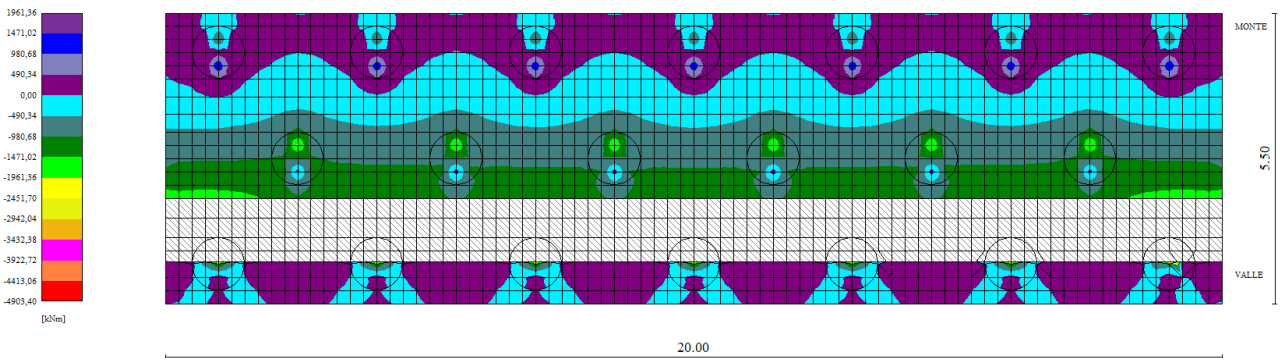


Figura 8-3: Myy sulla fondazione del muro – Comb. 2 – Myy,max = 1552 kN

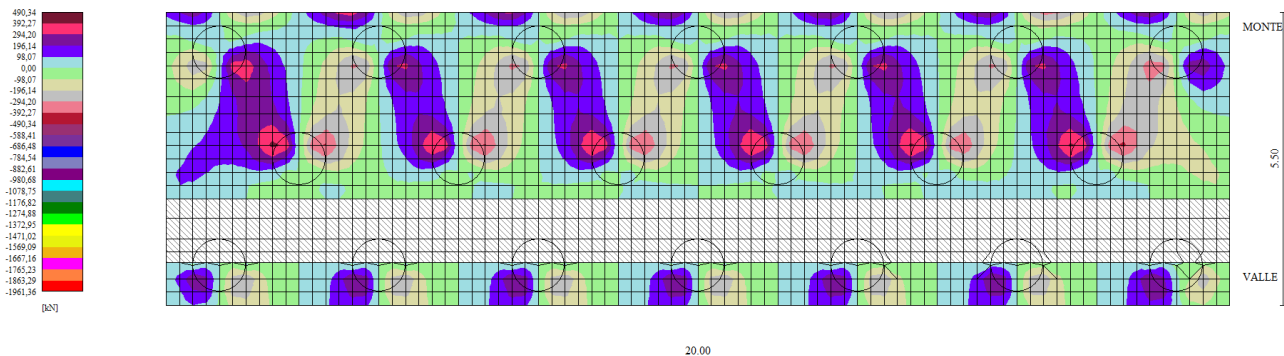


Figura 8-4: Txx sulla fondazione del muro – Comb.2 - $|T_{xx,max}|=259$ kN

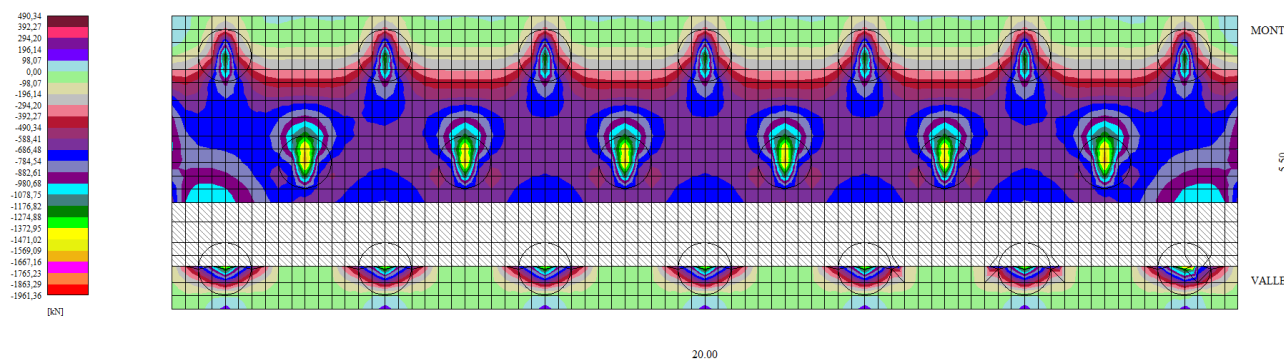


Figura 8-5: Tyy sulla fondazione del muro – Comb.2 - $|T_{yy,max}|=1033$ kN

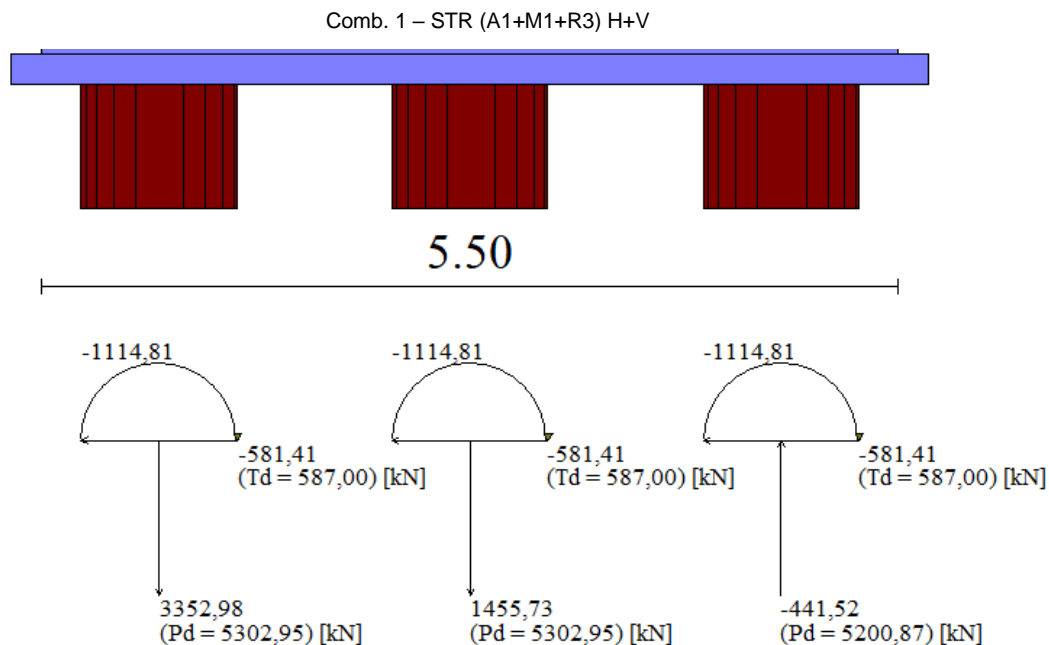


Figura 8-6: Scarichi in testa ai pali di fondazione del muro per la combinazione più sfavorevole (Comb.1)

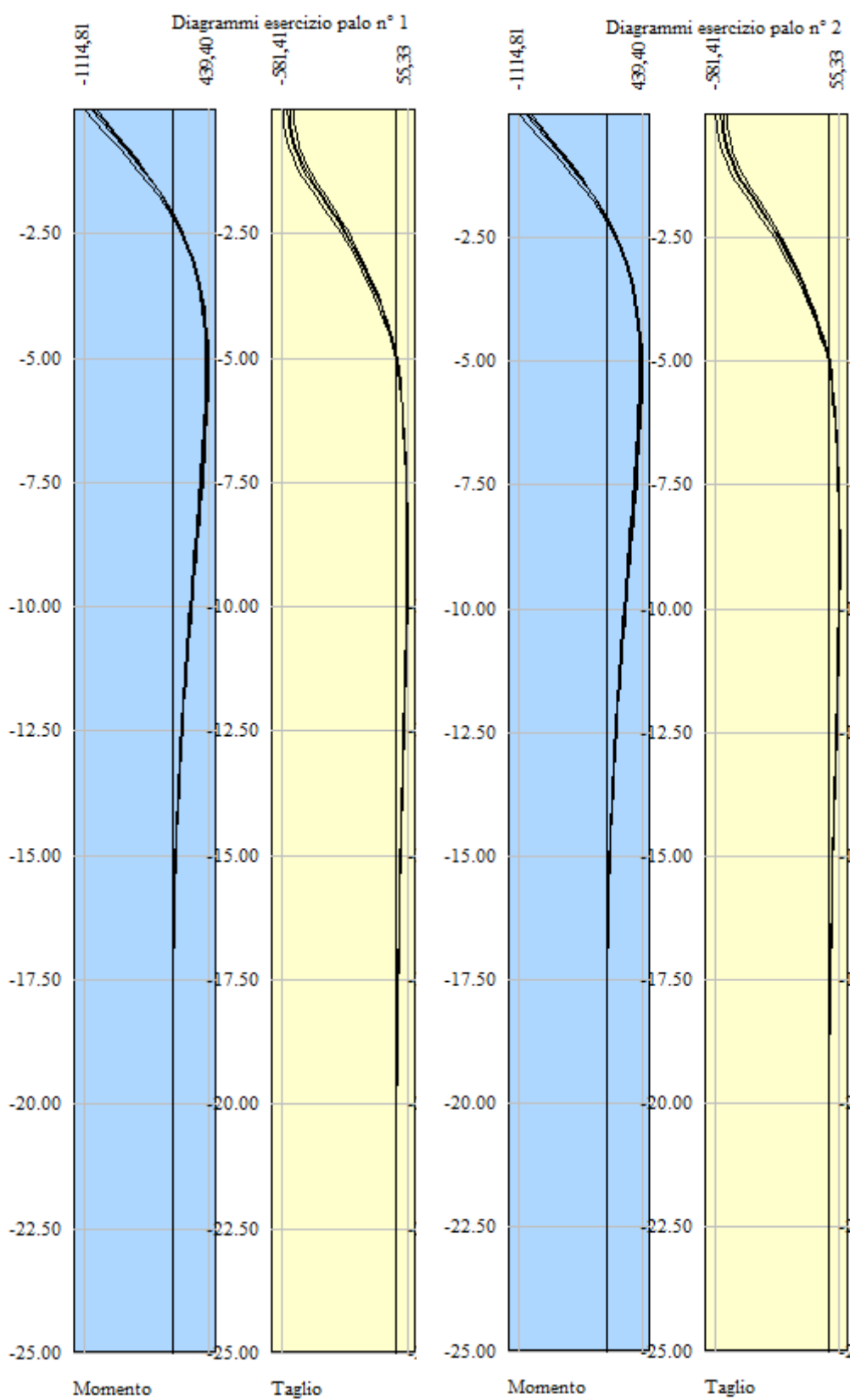


Figura 8-7: Involuppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti lungo i pali di fondazione (fila 1 e fila 2).

PROGETTAZIONE ATI:

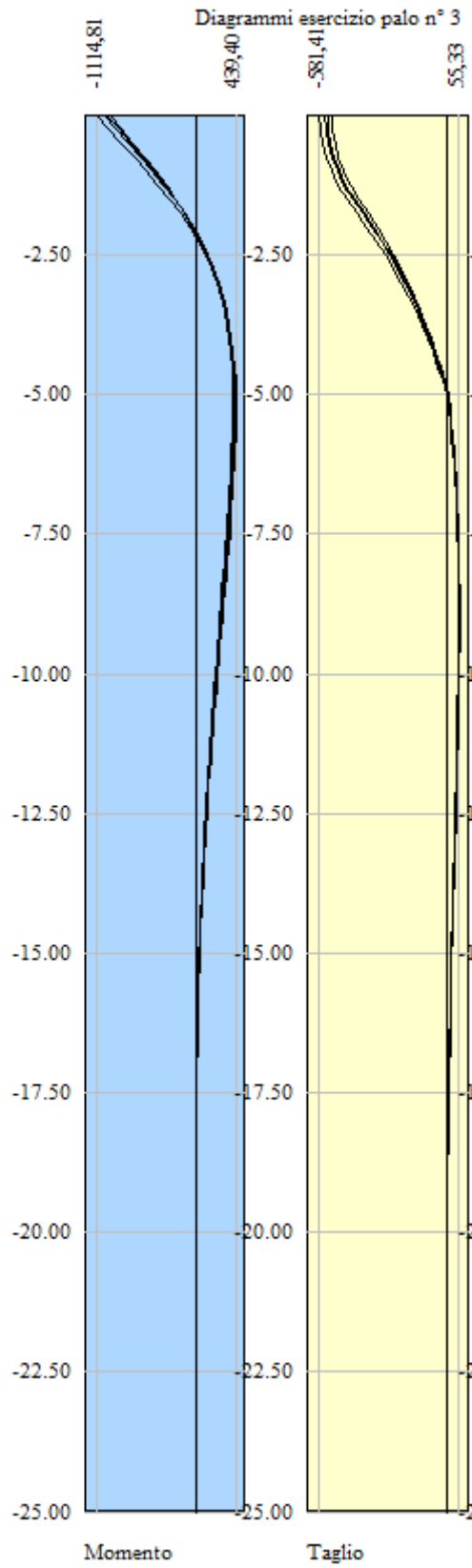


Figura 8-8: Inviluppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti lungo i pali di fondazione (fila 3).

8.4. VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE

8.4.1. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche sono state condotte, sulla base dell'involuppo delle sollecitazioni, secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limite.

Le sollecitazioni di output del codice di calcolo per i pali di fondazione dei muri di sostegno sono riferite al singolo palo.

Sono effettuate le seguenti verifiche:

- in condizioni statiche (condizioni di normale esercizio):
 - o Verifica a S.L.U. per flessione;
 - o Verifica a S.L.U. per taglio;
- in condizioni sismiche
 - o Verifica a S.L.U. per flessione;
 - o Verifica a S.L.U. per taglio;

I valori di calcolo delle resistenze dei materiali si ricavano dividendo ciascun valore caratteristico per il fattore di sicurezza parziale γ_m specifico del materiale considerato.

Tabella 8.2: fattore di sicurezza parziale dei materiali

Stato limite	Acciaio γ_s	Calcestruzzo γ_c
SLU	1.15	1.50

Di seguito si riportano i valori delle resistenze di calcolo, ottenute come rapporto tra la resistenza caratteristica e il coefficiente γ_m : $f_d = f_k/\gamma_m$.

Tabella 8.3: tensione di snervamento di calcolo

Acciaio	f_{yd} [MPa]	$\sigma_{s,max}$ ($0.8 \cdot f_{yk}$) [MPa]
B450C	391	360

Tabella 8.4: resistenze di calcolo calcestruzzo

Elemento strutturale	Calcestruzzo	f_{cd}	f_{ctd}	f_{ctd}	$\sigma_{c,max}$ ($0.45 \cdot f_{ck}$)
	Classe	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Fondazioni ed elevazioni	C35/45	23.33	2.13	2.56	10.5

dove:

- f_{cd} = resistenza a compressione cilindrica di calcolo
- $\sigma_{c,max}$ = tensione limite del calcestruzzo per lo stato limite di esercizio ($=0.45 \cdot f_{cd}$)
- f_{ctd} = resistenza a trazione di calcolo
- f_{ctd} = resistenza a trazione per flessione di calcolo ($=1.2 \cdot f_{ctd}$)

8.4.1.1. Sezione Tipo 1

Nelle tabelle seguenti si riportano le armature previste per il muro in esame.

Tabella 8.5: Armature fondazione del muro nella sezione di verifica

Elemento strutturale [-]	Altezza sezione [cm]	Armatura superiore [-]	Armatura inferiore [-]	Copriferro [cm]	Armatura a taglio (staffe) [-]
Fondazione	120	Ø 22/10	Ø 22/10	7	Ø 12/20

Tabella 8.6: Armature paramento del muro nella sezione di verifica

Elemento strutturale [-]	Altezza sezione [cm]	Armatura tesa [-]	Armatura compressa [-]	Copriferro [cm]	Armatura a taglio [-]
Paramento	960	Ø 26/10	Ø 26/10	5	Ø 12/20

Tabella 8.7: Armature dei pali nella sezione di verifica

Elemento strutturale [-]	Diametro sezione [cm]	Armatura longitudinale [-]	Copriferro [cm]	Armatura a taglio (spirale) [-]
Palo	100	24 Ø 24	8	Ø 10/10

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle verifiche per le combinazioni di carico più gravose e per le sezioni più sollecitate.

Paramento

Verifiche SLU

Verifica a flessione

Di seguito si riporta la verifica SLU a flessione del paramento nella sezione d'incastro.

Titolo: OS06- Verifica flessione SLU - Sezione Base Paramento

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53,09	5
2	53,09	115

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	434	0	kN
M _{xEd}	1929	0	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Materiali
B450C **C35/45**
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 19,83
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13,5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,8
 τ_{c1} 2,257

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Results:
 M_{xRd} 2.546 kN m
 σ_c -19,83 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 49,24 ‰
d 115 cm
x 7,632 x/d 0,06636
 δ 0,7

Figura 8-9: Verifica a flessione del paramento nella sezione di base

La verifica risulta soddisfatta.

Verifica a taglio

Di seguito si riporta la verifica SLU a taglio del paramento nella sezione d'incastro.

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio				
	<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} =$	506	kN
Larghezza minima della sezione			b_w	1000 mm
Altezza della sezione			h	1200 mm
Copriferro della sezione			δ	50 mm
Altezza utile della sezione			d	1150 mm
Diametro delle staffe			d_w	12 mm
Numero di braccia			n_w	1
Area totale staffe			A_{sw}	113,04 mm ²
Passo delle staffe			s	200 mm
Inclinazione delle staffe			α	90 deg
Inclinazione delle bielle compresse			θ	21,8 deg
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse			α_c	1
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"		$V_{Rsd} =$	572,3	kN
				$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$
Resistenza di calcolo a "taglio-compresione"		$V_{Rcd} =$	3776,9	kN
				$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$
Resistenza a taglio della sezione		$V_{Rd} =$	572,3	kN
				$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$
Esito della verifica	soddisfatta			

La verifica risulta soddisfatta.

Fondazione

Verifiche SLU

Verifica a flessione

Di seguito si riporta la verifica SLU a flessione della fondazione nella sezione trasversale più sollecitata.

Titolo : OS06 - Verifica Flessione - Sezione Incastro Fondazione

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	38,01	7
2	38,01	113

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.
 DXF

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M _{xEd}	<input type="text" value="1552"/>	<input type="text" value="0"/> kNm
M _{yEd}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Materiali

B450C		C35/45	
ε _{su}	<input type="text" value="67,5"/> ‰	ε _{c2}	<input type="text" value="2"/> ‰
f _{yd}	<input type="text" value="391,3"/> N/mm²	ε _{cu}	<input type="text" value="3,5"/> ‰
E _s	<input type="text" value="200.000"/> N/mm²	f _{cd}	<input type="text" value="19,83"/> ‰
E _s /E _c	<input type="text" value="15"/>	f _{cc} /f _{cd}	<input type="text" value="0,8"/> ?
ε _{syd}	<input type="text" value="1,957"/> ‰	σ _{c,adm}	<input type="text" value="13,5"/> ‰
σ _{s,adm}	<input type="text" value="255"/> N/mm²	τ _{co}	<input type="text" value="0,8"/>
		τ _{c1}	<input type="text" value="2,257"/>

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d

δ

Figura 8-10: Verifica a flessione della fondazione

La verifica risulta soddisfatta.

Verifica a taglio

Di seguito si riporta la verifica SLU a taglio della fondazione nella sezione più sollecitata.

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio				
	<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} =$	1033	kN
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm	
Altezza della sezione	h	1500	mm	
Copriferro della sezione	δ	70	mm	
Altezza utile della sezione	d	1430	mm	
Diametro delle staffe	d_w	12	mm	
Numero di braccia	n_w	5		
Area totale staffe	A_{sw}	565,20	mm ²	
Passo delle staffe	s	200	mm	
Inclinazione delle staffe	α	90	deg	
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg	
Coefficiente maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1		
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"		$V_{Rsd} =$	3558,0	kN
				$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$
Resistenza di calcolo a "taglio-compresione"		$V_{Rcd} =$	3711,2	kN
				$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$
Resistenza a taglio della sezione		$V_{Rd} =$	3558,0	kN
				$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$
Esito della verifica	soddisfatta			

La verifica risulta soddisfatta

Pali di fondazione

Verifiche SLU

La seguente tabella mostra i risultati della verifica SLU a flessione e a taglio dei pali di fondazione nella sezione d'incastro per la combinazione più gravosa.

Tabella 8.8: Riepilogo verifiche SLU dei pali

File [-]	Diametro sezione [cm]	N_d [kN]	V_d [kN]	M_d [kNm]	V_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
3	100	3353	581	1115	1002	1585

Di seguito si riporta la verifica a flessione per i pali.

Titolo : OS06 - Verifica a flessione SLU - Pali di fondazione

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]

Raggio interno: 0 [cm]

N° barre uguali: 24

Diametro barre: 2.4 [cm]

Copriferro (baric.): 8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

DXF

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} : 0 kN

M_{xEd} : 1115 kNm

M_{yEd} : 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C35/45

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰

f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰

E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 19.83

E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8

ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 13.5

$\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.8

τ_{c1} : 2.257

M_{xRd} : 1.585 kN m

σ_c : -19.83 N/mm²

σ_s : 391.3 N/mm²

ϵ_c : 3.5 ‰

ϵ_s : 10.67 ‰

d: 92 cm

x: 22.73 x/d: 0.247

δ : 0.7488

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o : 0 cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Tabella 8.9: Verifiche a flessione dei pali di fondazione.

Di seguito si riporta la verifica a taglio dei pali.

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio			
<i>Taglio agente</i>	$V_{Ed} =$	581	kN
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm
Altezza della sezione	h	800	mm
Copriferro della sezione	δ	75	mm
Altezza utile della sezione	d	725	mm
Diametro delle staffe	d_w	10	mm
Numero di braccia	n_w	2	
Area totale staffe	A_{sw}	157,00	mm ²
Passo delle staffe	s	100	mm
Inclinazione delle staffe	α	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1	
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"	$V_{Rsd} =$	1002,2	kN
		$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$	
Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione"	$V_{Rcd} =$	2364,6	kN
		$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$	
Resistenza a taglio della sezione	$V_{Rd} =$	1002,2	kN
		$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$	
Esito della verifica	soddisfatta		

Tabella 8.10: Verifiche a flessione dei pali di fondazione.

Le verifiche risultano entrambe soddisfatte.

8.4.2. VERIFICHE GEOTECNICHE

8.4.2.1. Capacità portante verticale del palo

Per quanto riguarda l'espressione del carico limite del singolo palo (Q_{lim}), questo viene convenzionalmente espresso come somma di due contributi, un contributo legato alla capacità portante limite alla base (Q_b) e una capacità portante limite di fusto (Q_l).

$$Q_{lim} = Q_b + Q_l$$

Per quanto concerne la capacità portante limite alla base (Q_b), in generale, per un mezzo dotato di coesione e attrito si pone:

$$q_b = N_q \cdot \sigma_{vL} + N_c \cdot c$$

in cui σ_{vL} rappresenta la tensione litostatica verticale alla profondità della base del palo ed N_q e N_c sono fattori adimensionali funzioni dell'angolo d'attrito e del rapporto L/D .

Tra i due parametri sussiste la relazione:

$$N_c = (N_q - 1) \cotg \varphi$$

Per quanto riguarda invece, la capacità portante di fusto, questa assumerà espressioni diverse a seconda che venga valutata in termini di tensioni efficaci o in termini di tensioni totali, in funzione del comportamento dei terreni attraversati.

L'espressione di tale capacità portante limite, in termini di tensioni efficaci, sarà valutata con la seguente formulazione:

$$Q_l = \pi \cdot D \int \mu \cdot k \cdot \sigma'_v \cdot dz$$

dove:

- D = diametro del palo;
- μ = coefficiente di attrito palo-terreno;
- k = coefficiente adimensionale che esprime il rapporto tra la tensione normale che agisce alla profondità z sulla superficie laterale del palo e la tensione verticale alla stessa profondità;
- σ'_v = tensione verticale efficace alla profondità z .

L'integrale avrà come estremi di integrazione la profondità dal piano di campagna a cui inizia lo strato in esame (z_1) e la profondità alla quale termina lo strato (z_2).

La stratigrafia di calcolo del terreno presente in sito è a grana grossa, pertanto non si sono considerate le condizioni di breve termine.

La capacità portante di un palo di fondazione è funzione del diametro del singolo palo e dell'interasse tra i pali, e può essere valutata tramite la seguente disuguaglianza:

$$i \geq 3 \cdot D_{palo} \Rightarrow A_{friction} = \pi \cdot D_{palo}$$

Il valore interasse tra i singoli pali dell'opera in oggetto soddisfa la disuguaglianza, pertanto non è necessario valutare le possibili riduzioni della resistenza disponibile per effetto di gruppo.

In accordo con la vigente normativa (DM del 17 Gennaio 2018), le verifiche sono state effettuate considerando l'Approccio 2:

- A1+M1+R3

in cui:

- A1 sono i coefficienti parziali per le azioni, riportato nella tabella 6.2.I;
- M1 sono i coefficienti parziali per i parametri geotecnici riportati nella tabella 6.2.II;
- R3 sono i coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche (resistenza di base e laterale) riportati nella tabella 6.4.II .

Per il calcolo della resistenza si applica inoltre il fattore di correlazione ζ riportato nella tabella 6.4.IV ($\zeta=1.7$). La portata totale di progetto del palo è così calcolata:

$$Q_{d,tot} = \frac{\frac{Q_L}{R3} + \frac{Q_B}{R3}}{\zeta}$$

dove il coefficiente R3 è pari a 1.15 relativamente alla resistenza laterale di compressione e 1.35 per la resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a forze di trazione, il coefficiente R3 da applicare alla portata per attrito laterale vale 1.25. La verifica risulta soddisfatta quando il carico massimo di progetto del palo, risulta inferiore alla portata totale di progetto del palo.

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche condotte in condizioni drenate.

Sezione Tipo 1

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori dei carichi assiali massimi e delle portanze verticali dei pali di fondazione. Inoltre, si moltiplica il valore dell'azione permanente del peso del palo per il coefficiente di amplificazione $\gamma_G=1.3$.

Tabella 8.11: Azioni assiali sui pali (SLU/SLV)

File	Comb.	N _d	Peso palo	S _{idr}	γ_G	N _{d,tot}
[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]		[kN]
3	SLU	3353	490.9	235.6	1.3	3684.8

dove:

- N_{d,tot} è il carico massimo di progetto del palo allo stato limite ultimo, ottenuto sommando al carico agente in testa al palo, il peso proprio dello stesso e sottraendo l'eventuale sottospinta idraulica S_{idr}.

Tabella 8.12: Verifiche di capacità portante dei pali

File	Diametro	Lunghezza	Q _{CD}
[-]	[cm]	[m]	[kN]
3	100	25	4470.8

dove:

- Q_{CD} è il valore di progetto della capacità portante del palo in condizioni drenate;

Di seguito è riportato il procedimento di calcolo del carico limite verticale per i pali.

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE: OCN - OS06

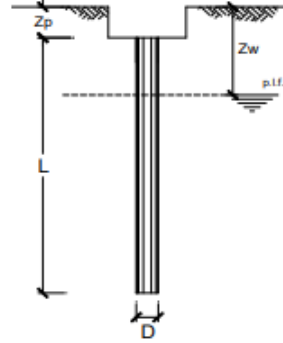
OPERA:

Muro di sostegno tipico

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1,00 (m) Area del Palo (Ap): 0,785 (m²)
 Quota testa Palo dal p.c. (z_p): 1,50 (m) Quota falda dal p.c. (z_a): 7,00 (m)
 Carico Assiale Permanente (G): 3685 (kN) Carico Assiale variabile (Q): (kN)
 Numero di strati 2 Lpalo = 25,00 (m)

Metodo di calcolo	coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
	γ ₀	γ _{1,acc}	permanenti	variabili	γ _s	γ _a	γ _{1,acc}
SIU							
A1+M1+R1	○		1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
A2+M1+R2	○		1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
A1+M1+R3	○		1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
SISMA	○		1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DMBS	○		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista	●		1,00	1,00	1,30	1,15	1,25



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ _s	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ _a	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	C _{med} (kPa)	φ _{med} (°)	C _{u,med} (kPa)
1	5,00	Deposito ghiaioso	20,00	0,0	36,0	
2	20,00	Deposito sabbioso	19,00	0,0	34,0	

Coefficienti di Calcolo				
k	β	α	α	α
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
0,41	0,73			
0,44	0,67			

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del pinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	C _{min} (kPa)	φ _{min} (°)	C _{u,min} (kPa)
1	5,00	Deposito ghiaioso	20,00	0,0	34,0	
2	20,00	Deposito sabbioso	19,00	0,0	32,0	

Coefficienti di Calcolo				
k	β	α	α	α
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
0,44	0,67			
0,47	0,62			

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qs1 (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qs1 (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	5,00	Deposito ghiaioso	376,4					373,6				
2	20,00	Deposito sabbioso	4202,2	24,50	0,00	7717,5	6061,3	4151,5	19,26	0,00	6067,2	4765,2

CARICO ASSIALE AGENTE

$N_d = N_{Gd} \cdot \gamma_G + N_{Qd} \cdot \gamma_Q$
 $N_d = 3685,0 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

base $R_{b,cal,med} = 6061,3 \text{ (kN)}$
 laterale $R_{s,cal,med} = 4578,6 \text{ (kN)}$
 totale $R_{c,cal,med} = 10639,9 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

base $R_{b,cal,min} = 4765,2 \text{ (kN)}$
 laterale $R_{s,cal,min} = 4525,1 \text{ (kN)}$
 totale $R_{c,cal,min} = 9290,3 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal,med}/\xi_s; R_{b,cal,min}/\xi_s) = 2803,0 \text{ (kN)}$
 $R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal,med}/\xi_a; R_{s,cal,min}/\xi_a) = 2661,8 \text{ (kN)}$
 $R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 5464,9 \text{ (kN)}$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$
 $R_{c,d} = 4470,8 \text{ (kN)}$
 $F_s = R_{c,d} / N_d$
 $F_s = 1,21$

Figura 8-11: Verifica a carico limite verticale del singolo palo– Condizioni drenate

8.4.2.2. Capacità portante orizzontale del palo

Per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni riportate al paragrafo 6.4.3.1.1 del DM del 17/01/2018.

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza è stato applicato il coefficiente parziale della Tab. 6.4.VI.

La presenza della struttura di fondazione in testa ai pali garantisce il collegamento tra i singoli pali e permette di effettuare la verifica tenendo conto delle condizioni di vincolo in testa.

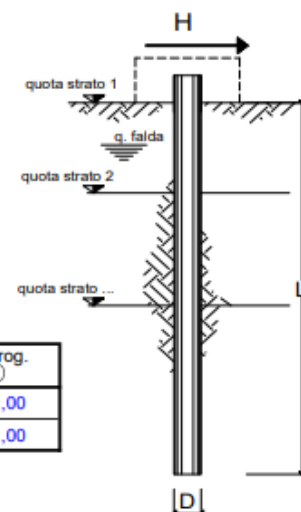
Essendo la distanza tra i singoli pali sufficiente a garantire la massima resistenza del singolo, non è necessario tenere conto delle possibili riduzioni della resistenza per effetto di gruppo.

Di seguito è riportato il procedimento di calcolo del carico limite orizzontale per i pali.

Sezione Tipo 1

opera Muro di sostegno tipologico OCN - OS06

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R	
			permanenti γ_G	variabili γ_Q	γ_{ef}	γ_{cu}	γ_r	
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,00	1,00	1,60	
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00	1,30	
	SISMA	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	
DM88		<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
definiti dal progettista					<input checked="" type="radio"/>	1,00	1,00	1,30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_3	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ξ_4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	φ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k_p	c_u (kPa)	φ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1	Deposito ghiaioso	100,00	20	10	36	3,85		34	3,54	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Deposito sabbioso	95,00	19	9	34	3,54		32	3,25	
<input type="checkbox"/> strato 3						1,00			1,00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1,00			1,00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1,00			1,00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1,00			1,00	

Quota falda **93** (m)
 Diametro del palo D **1,00** (m)
 Lunghezza del palo L **25,00** (m)
 Momento di plasticizzazione palo M_y **1581,43** (kNm)
 Step di calcolo **0,01** (m)

- palo impedito di ruotare
 palo libero

	H medio		H minimo	
Palo lungo	1371,4 (kN)		1333,5 (kN)	
Palo intermedio	14030,0 (kN)		12904,1 (kN)	
Palo corto	47244,5 (kN)		43465,4 (kN)	
H_{med}	1371,4 (kN)	Palo lungo	H_{min}	1333,5 (kN)
	H_k = Min(H_{med}/ξ₃ ; R_{min}/ξ₄)		784,43 (kN)	
	H_d = H_k/γ_r		603,41 (kN)	
Carico Assiale Permanente (G):	G =		581 (kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		0 (kN)	
	F_d = G · γ_G + Q · γ_Q =		581,00 (kN)	
	FS = H_d / F_d =		1,04	

Figura 8-12. Verifica a carico limite verticale per il singolo palo– condizioni drenate.

8.4.2.3. Stabilità globale

Per le verifiche di stabilità globale è stato utilizzato il codice di calcolo MAX versione 16 di AZTEC Informatica.

Le verifiche di stabilità sono state svolte, con il metodo dell'equilibrio limite (Bishop), analizzando le combinazioni di carico statica e sismica.

L'analisi sismica è stata condotta con il metodo pseudo-statico, dove l'azione del sisma è rappresentata da una forza statica equivalente che non varia nel tempo, pari al prodotto di un coefficiente k (coefficiente sismico) per il peso della massa potenzialmente instabile.

Le verifiche di stabilità globale sono state eseguite considerando la Combinazione 2 dell'Approccio 1 del DM del 17/01/2018 (A2+M2+R2, dove $R2=1.1$, par. 6.8.2 NTC18). Il fattore di sicurezza deve pertanto essere ≥ 1.1 ($R2$) in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

Sezione Tipo 1

Risultati Muro

Tutti i risultati sono riferiti a metro lineare

	CALCOLATI	RICHIESTI	MINIMI
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento			
Coefficiente di sicurezza a scorrimento			
Coefficiente di sicurezza a carico limite			
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	3,07	1,10	3,07 (5)
Coefficiente di sicurezza a sifonamento			
Coefficiente di sicurezza a sollevamento			

Comb. n° 5/12 - GEO (A2-M2-R2) Help

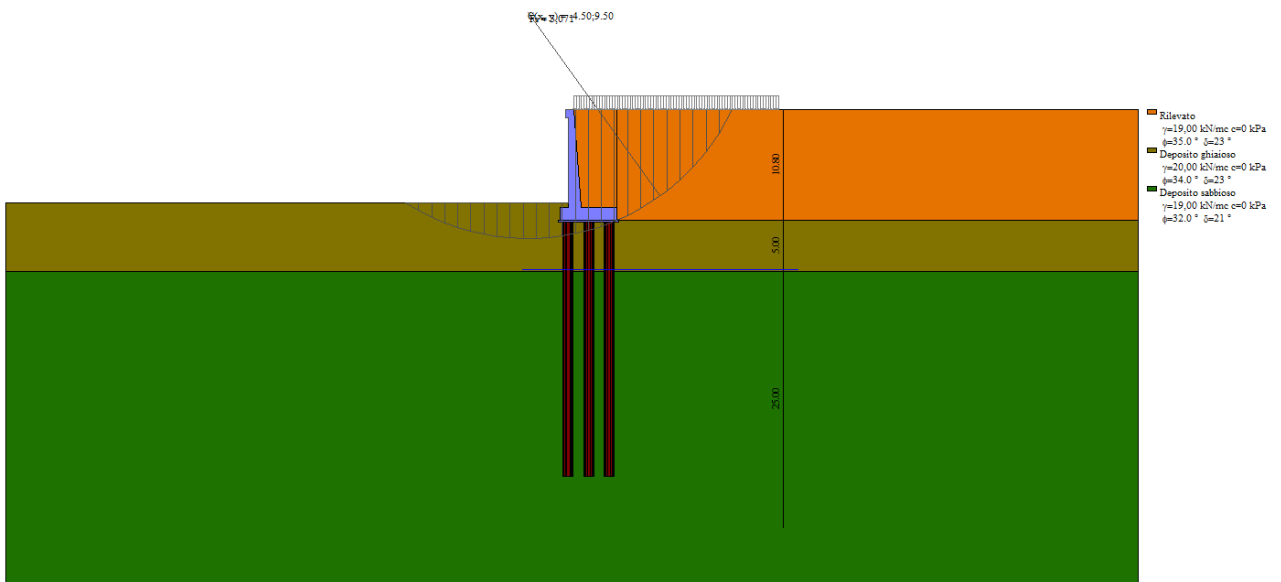


Figura 8-13. Analisi stabilità – Combinazione piu sfavorevole (Comb. 5) – FS=3.07

9. ALLEGATI DI CALCOLO

9.1.1. SEZIONE TIPO 1

Dati

Materiali

Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descr	Descrizione del materiale
Calcestruzzo armato	
C	Classe di resistenza del cls
A	Classe di resistenza dell'acciaio
γ	Peso specifico, espresso in [kN/mc]
R _{ck}	Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kPa]
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
ν	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc	Coeff. di omogenizzazione cls tesoro/compresso

Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	γ [kN/mc]	R _{ck} [kPa]	E [kPa]	ν	n	ntc
1	C35/45	C35/45	B450C	24,5170	45000	34625349	0.30	15.00	0.50

Acciai

Descr	f _{yk} [kPa]	f _{uk} [kPa]
B450C	450000	540000

Tipologie pali

Simbologia adottata

n°	Indice tipologia palo
Descr	Descrizione tipologia palo
P	Contributo portanza palo (laterale e/o punta)
T	Tecnologia costruttiva (trivellato, infisso o elica continua)
V	Vincolo palo-fondazione: Cerniera o Incastro (libero o impedito di ruotare in testa)
Imat	Indice materiale che lo costituisce
BD	usa metodo di Bustamante-Doix
PN	Portanza nota
Pp, PI	Portanza di punta e laterale caratteristica, espressa in [kN]

n°	Descr	P	T	V	Imat	BD	PN	Pp	PI
1	Tipologia palo	Laterale + Punta	Elica continua	Incastro	1	NO	NO	--	--

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	0,00	0,00	0.000
2	20,00	0,00	0.000

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.000 [°]

Falda

PROGETTAZIONE ATI:

Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-5,00	-15,60	0.000
2	22,00	-15,60	0.000

Geometria muro

Geometria paramento e fondazione

Lunghezza muro 20,00 [m]

Paramento

Materiale	C35/45	
Altezza paramento	9,60	[m]
Altezza paramento libero	9,10	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1,20	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	4,20	[°]

Mensola di marciapiede

Posizione rispetto alla testa del muro	0,00	[m]
Lunghezza	0,30	[m]
Spessore all'estremità libera	0,80	[m]
Spessore all'incastro	0,80	[m]

Fondazione

Materiale	C35/45	
Lunghezza mensola di valle	0,80	[m]
Lunghezza mensola di monte	3,50	[m]
Lunghezza totale	5,50	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	1,20	[m]
Spessore magrone	0,20	[m]

Descrizione pali di fondazione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della fila
X	ascissa della fila misurata dallo spigolo di monte della fondazione espressa in [m]
I	interasse tra i pali, espressa in [m]
f	franco laterale (distanza minima dal bordo laterale), espressa in [m]
Np	Numero di pali della fila
D	diametro dei pali della fila espresso in [m]
L	lunghezza dei pali della fila espressa in [m]
α	inclinazione dei pali della fila rispetto alla verticale espressa in [°]
ALL	allineamento dei pali della fila rispetto al baricentro della fondazione (CENTRATI o SFALSATI)

n°	Tipologia	X [m]	I [m]	f [m]	Np	D [m]	L [m]	α [°]	ALL
1	Tipologia palo	0,75	3,00	0,50	7	1,0000	25,00	0,00	Centrati
2	Tipologia palo	2,75	3,00	0,50	6	1,0000	25,00	0,00	Sfalsati
3	Tipologia palo	4,75	3,00	0,50	7	1,0000	25,00	0,00	Centrati

Descrizione terreni

Parametri di resistenza

Simbologia adottata

PROGETTAZIONE ATI:

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kPa]
ca	Adesione terra-muro espressa in [kPa]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix	
Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
τ_l	Tensione tangenziale limite, espressa in [kPa]

n°	Descr	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]	ca [kPa]	Cesp	τ_l [kPa]	
1	Rilevato	19,0000	19,0000	35.000	23.333	0	0	1.000	0	(CAR)
				35.000	23.333	0	0			(MIN)
				35.000	23.333	0	0			(MED)
2	Deposito ghiaioso	20,0000	20,0000	34.000	22.670	0	0	1.000	0	(CAR)
				34.000	22.667	0	0			(MIN)
				36.000	24.000	0	0			(MED)
3	Deposito sabbioso	19,0000	19,0000	32.000	21.333	0	0	1.000	0	(CAR)
				32.000	21.333	0	0			(MIN)
				34.000	22.667	0	0			(MED)

Stratigrafia

Simbologia adottata

n°	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
α	Inclinazione espressa in [°]
Terreno	Terreno dello strato
Kwn, Kwt	Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm ² /cm
Per calcolo pali (solo se presenti)	
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Cesp	Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')

Kststa, Kstsis Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H [m]	α [°]	Terreno	Kwn [Kg/cm ²]	Kwt [Kg/cm ²]	Kw [Kg/cm ²]	Ks	Cesp	Kststa	Kstsis
1	10,80	0.000	Rilevato	0.000	0.000	2,157	0,500	1,000	---	---
2	5,00	0.000	Deposito ghiaioso	0.000	0.000	2,157	0,500	1,000	---	---
3	25,00	0.000	Deposito sabbioso	0.000	0.000	1,018	0,500	1,000	---	---

Terreno di riempimento: Rilevato
Inclinazione riempimento (rispetto alla verticale): 0.00 [°]

Condizioni di carico

Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.	
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.	
Momento positivo senso antiorario.	
X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
Fx	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
Fy	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M	Momento espresso in [kNm]
Xi	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
Xr	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Qi	Intensità del carico per x=Xi espressa in [kN]
Qr	Intensità del carico per x=Xr espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Carico stradale) - VARIABILE

Coeff. di combinazione $\Psi_0=1.00 - \Psi_1=1.00 - \Psi_2=1.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Distribuito					0,00	20,00	20,0000	20,0000

Condizione n° 2 (Urto) - ECCEZIONALE

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]

PROGETTAZIONE ATI:

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Concentrato	Paramento	0,00; 0,00	37,5000	0,0000	25,0000				

Normativa

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (D.M. 17.01.2018) + Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7**

Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto	Combinazioni statiche						Combinazioni sismiche	
		UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2	
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1, fav}$	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G1, sfav}$	1.10	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2, fav}$	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G2, sfav}$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	γ_Q, fav	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevoli	$\gamma_Q, sfav$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{QT, fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{QT, sfav}$	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\phi)}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Peso nell'unità di volume	γ_γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Carichi verticali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	γ_b	--	--	1.15	--	--	1.30	--	--	1.30
Laterale compressione	γ_s	--	--	1.15	--	--	1.15	--	--	1.15
Totale compressione	γ_t	--	--	1.15	--	--	1.25	--	--	1.25
Laterale trazione	γ_{st}	--	--	1.25	--	--	1.25	--	--	1.25

Carichi trasversali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

		R1	R2	R3
Trasversale	γ_t	--	--	1.30

Coefficienti di riduzione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1

$\zeta_3=1.70$ $\zeta_4=1.70$

Descrizione combinazioni di carico

Con riferimento alle azioni elementari prima determinate, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

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

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coeff. $\Psi_{0,j}$, $\Psi_{1,j}$, $\Psi_{2,j}$ sono definiti nelle singole condizioni variabili.

I valori dei coeff. γ_G e γ_Q , sono definiti nella tabella normativa.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

PROGETTAZIONE ATI:

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione
 Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Carico stradale	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Carico stradale	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Carico stradale	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole

PROGETTAZIONE ATI:

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - EQU (A1-M1-R3) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - EQU (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Dati sismici

Comune	Cagliari
Provincia	Cagliari
Regione	Sardegna
Latitudine	39.214903
Longitudine	9.109499
Indice punti di interpolazione	-1 - -1 - -1 - -1
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	0.600	0.310
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.061	0.032
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.976	2.730
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.371	0.307
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000

Stato limite ...	Coeff. di riduzione β_m	kh [%]	kv [%]
Ultimo	1.000	7.339	3.670
Ultimo - Ribaltamento	1.000	7.339	3.670
Esercizio	1.000	3.792	1.896

Forma diagramma incremento sismico **Rettangolare**

Opzioni di calcolo

Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Culmann
Tipo di spinta	Spinta a riposo
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	NO

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale	Bishop
---	--------

Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante	0.00
Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione	50.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni	SI
Considera terreno sulla fondazione di valle	SI
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle	SI

Spostamenti

Modello a blocchi	
Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti	
Spostamento limite	0,0500 [m]

Opzioni calcolo pali

PROGETTAZIONE ATI:

Portanza verticale

Metodo di calcolo della portanza alla punta	Berezantzev
Metodo di calcolo della portanza alla laterale	Integrazione delle tensioni tangenziali ($k_s \sigma_v \tan(\delta) + c_a$)
Correzione angolo di attrito in funzione del tipo di palo (infisso/trivellato)	Non attiva
Andamento pressione verticale nel calcolo della portanza alla punta σ_v con la profondità	Pressione geostatica
Andamento pressione verticale nel calcolo della portanza laterale	Pressione geostatica

Portanza trasversale

Costante di Winkler: da strato

Criterio rottura palo-terreno

- Spostamento limite

Non attivo

- Pressione limite

Brinch-Hansen

- Palo infinitamente elastico

Non attivo

Cedimenti

Metodo di calcolo

Metodo agli elementi finiti

Spostamento limite alla punta

0,0100 [m]

Spostamento limite laterale

0,0050 [m]

Risultati per inviluppo

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
A	Tipo azione
I	Inclinazione della spinta, espressa in [°]
V	Valore dell'azione, espressa in [kN]
C _x , C _y	Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]
P _x , P _y	Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kN]	I [°]	C _x [kN]	C _y [kN]	P _x [m]	P _y [m]
1	Spinta statica	633,21	23,33	581,42	250,80	4,20	-6,40
	Peso/inerzia muro			0,00	368,49/0,00	0,60	-7,46
	Peso/inerzia terrapieno			0,00	828,84/0,00	2,25	-4,64
	Peso/inerzia terreno sulla fondazione di valle			0,00	7,60	-0,90	-9,35
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0,00	0,00	-10,80
	Resistenza pali			-587,00			

Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
I _p	Indice palo
N	Sforzo normale, espresso in [kN]
M	Momento, espresso in [kNm]
T	Taglio, espresso in [kN]

Cmb	I _p	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	-441,52	-1114,81	-581,41
	2	1455,73	-1114,81	-581,41
	3	3352,98	-1114,81	-581,41

Verifiche geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS _{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS _{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS _{QLIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS _{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS _{HYD}	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS _{UPL}	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS _{SCO}	FS _{RIB}	FS _{QLIM}	FS _{STAB}	FS _{HYD}	FS _{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)		1.010					
2 - STR (A1-M1-R3)		1.130					
3 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.098					
4 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.170					
5 - GEO (A2-M2-R2)					3.071		
6 - GEO (A2-M2-R2)					3.485		
7 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				3.306		
8 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				3.368		
9 - EQU (A1-M1-R3)			12.820				
10 - EQU (A1-M1-R3)			8.403				
11 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		8.637				
12 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		8.683				

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
C	Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R	Raggio, espresso in [m]
FS	Fattore di sicurezza

Ic	C	R	FS
----	---	---	----

PROGETTAZIONE ATI:

	[m]	[m]	
5 - GEO (A2-M2-R2)	-4,50; 9,50	22,10	3.071

Dettagli strisce verifiche stabilità

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kN]
 Qy carico sulla striscia espresso in [kN]
 Qf carico acqua sulla striscia espresso in [kN]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
 φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
 Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	27,84	33,19	0,00	15,46 - 1,28	60.926	29.256	0	0,0	
2	77,67	33,19	0,00	1,28	54.861	29.256	0	0,0	
3	117,74	33,19	0,00	1,28	49.439	29.256	0	0,0	
4	151,07	33,19	0,00	1,28	44.570	29.256	0	0,0	
5	179,34	33,19	0,00	1,28	40.083	29.256	0	0,0	
6	203,56	33,19	0,00	1,28	35.878	29.256	0	0,0	
7	224,39	33,19	0,00	1,28	31.886	29.256	0	0,0	
8	242,27	33,19	0,00	1,28	28.061	29.256	0	0,0	
9	270,12	33,19	0,00	1,28	24.369	29.256	0	0,0	
10	278,86	33,19	0,00	1,28	20.781	28.352	0	0,0	
11	289,55	33,19	0,00	1,28	17.278	28.352	0	0,0	
12	309,93	33,19	0,00	1,28	13.840	28.352	0	0,0	
13	235,06	3,79	0,00	1,28	10.453	28.352	0	0,0	
14	81,61	0,00	0,00	1,28	7.102	28.352	0	0,0	
15	83,44	0,00	0,00	1,28	3.776	28.352	0	0,0	
16	84,58	0,00	0,00	1,28	0.462	28.352	0	0,0	
17	83,94	0,00	0,00	1,28	-2.850	28.352	0	0,0	
18	81,49	0,00	0,00	1,28	-6.172	28.352	0	0,0	
19	77,23	0,00	0,00	1,28	-9.514	28.352	0	0,0	
20	71,09	0,00	0,00	1,28	-12.890	28.352	0	0,0	
21	63,02	0,00	0,00	1,28	-16.312	28.352	0	0,0	
22	52,92	0,00	0,00	1,28	-19.796	28.352	0	0,0	
23	40,66	0,00	0,00	1,28	-23.358	28.352	0	0,0	
24	26,09	0,00	0,00	1,28	-27.018	28.352	0	0,0	
25	8,97	0,00	0,00	-16,45 - 1,28	-30.446	28.352	0	0,0	

Resistenza al taglio pali 1758,02 [kN]

Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° Indice della sezione
 X Posizione della sezione, espresso in [m]
 N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
 T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
 M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

La posizione delle sezioni di verifica fanno riferimento al sistema di riferimento globale la cui origine è nello spigolo in alto a destra del paramento.

Elementi calcolati a piastra

Simbologia adottata

Mx, My Momenti flettenti, espresso in [kNm]
 Mxy Momento torcente, espresso in [kNm]. Positivo se diretto da monte verso valle
 Tx, Ty Tagli, espresso in [kN]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)
 I momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori (intradosso fondazione, paramento esterno)

Paramento

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	0,00	5,88	6,10	0,00	37,50	0,88	25,88
2	-0,10	7,99	8,43	1,85	39,19	0,69	29,50
3	-0,20	10,14	10,92	3,74	40,93	0,72	33,27
4	-0,30	12,33	13,52	5,69	42,74	0,99	37,21
5	-0,40	14,56	16,16	7,68	44,61	1,42	41,33
6	-0,50	16,83	18,85	9,72	46,53	2,02	45,62
7	-0,60	19,14	21,59	11,80	48,52	2,82	50,10
8	-0,70	21,50	24,38	13,94	50,57	3,83	54,77

PROGETTAZIONE ATI:

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
9	-0,80	23,89	27,22	16,12	52,68	5,04	59,64
10	-0,90	26,33	30,11	18,35	54,84	6,45	64,70
11	-1,00	28,81	33,05	20,62	57,07	8,09	69,98
12	-1,10	31,33	36,04	22,95	59,36	9,94	75,47
13	-1,20	33,89	39,08	25,32	61,71	12,02	81,17
14	-1,30	36,49	42,17	27,74	64,11	14,33	87,11
15	-1,40	39,14	45,30	30,21	66,58	16,87	93,27
16	-1,50	41,82	48,49	32,72	69,11	19,64	99,67
17	-1,60	44,55	51,72	35,28	71,70	22,66	106,31
18	-1,70	47,32	55,01	37,89	74,35	25,93	113,19
19	-1,80	50,13	58,34	40,55	77,06	29,45	120,34
20	-1,90	52,98	61,72	43,25	79,82	33,23	127,74
21	-2,00	55,88	65,16	46,01	82,65	37,26	135,40
22	-2,10	58,81	68,64	48,81	85,54	41,56	143,34
23	-2,20	61,79	72,17	51,65	88,49	46,13	151,55
24	-2,30	64,81	75,75	54,55	91,50	50,98	160,05
25	-2,40	67,87	79,38	57,49	94,57	56,10	168,83
26	-2,50	70,97	83,06	60,48	97,70	61,51	177,91
27	-2,60	74,11	86,79	63,52	100,89	67,20	187,28
28	-2,70	77,29	90,57	66,60	104,14	73,19	196,96
29	-2,80	80,52	94,39	69,74	107,45	79,48	206,95
30	-2,90	83,79	98,27	72,92	110,82	86,06	217,26
31	-3,00	87,09	102,20	76,15	114,25	92,96	227,89
32	-3,10	90,44	106,17	79,42	117,74	100,16	238,85
33	-3,20	93,83	110,20	82,75	121,29	107,68	250,14
34	-3,30	97,27	114,27	86,12	124,90	115,52	261,77
35	-3,40	100,74	118,39	89,54	128,57	123,68	273,75
36	-3,50	104,26	122,57	93,00	132,30	132,18	286,08
37	-3,60	107,81	126,79	96,52	136,10	141,00	298,76
38	-3,70	111,41	131,06	100,08	139,95	150,17	311,81
39	-3,80	115,05	135,38	103,69	143,86	159,67	325,22
40	-3,90	118,73	139,75	107,34	147,83	169,53	339,01
41	-4,00	122,46	144,17	111,05	151,86	179,73	353,18
42	-4,10	126,22	148,64	114,80	155,95	190,30	367,73
43	-4,20	130,03	153,16	118,60	160,11	201,22	382,68
44	-4,30	133,87	157,73	122,44	164,32	212,51	398,02
45	-4,40	137,76	162,35	126,34	168,59	224,17	413,76
46	-4,50	141,69	167,01	130,28	172,92	236,20	429,91
47	-4,60	145,66	171,73	134,27	177,32	248,61	446,48
48	-4,70	149,68	176,49	138,31	181,77	261,41	463,47
49	-4,80	153,73	181,31	142,39	186,28	274,60	480,88
50	-4,90	157,83	186,17	146,52	190,86	288,17	498,72
51	-5,00	161,96	191,08	150,70	195,49	302,15	517,00
52	-5,10	166,14	196,05	154,93	200,18	316,53	535,72
53	-5,20	170,36	201,06	159,21	205,42	331,31	554,89
54	-5,30	174,62	206,12	163,53	210,97	346,50	574,52
55	-5,40	178,93	211,23	167,90	216,57	362,11	594,60
56	-5,50	183,27	216,39	172,32	222,24	378,14	615,15
57	-5,60	187,66	221,60	176,78	227,96	394,60	636,18
58	-5,70	192,09	226,86	181,30	233,75	411,48	657,67
59	-5,80	196,56	232,17	185,86	239,59	428,80	679,66
60	-5,90	201,07	237,53	190,47	245,50	446,56	702,13
61	-6,00	205,62	242,93	195,12	251,46	464,76	725,09
62	-6,10	210,21	248,39	199,83	257,49	483,40	748,56
63	-6,20	214,85	253,89	204,58	263,58	502,50	772,53
64	-6,30	219,52	259,45	209,38	269,72	522,06	797,01
65	-6,40	224,24	265,05	214,22	275,93	542,08	822,01
66	-6,50	229,00	270,71	219,12	282,19	562,56	847,53
67	-6,60	233,80	276,41	224,06	288,52	583,51	873,58
68	-6,70	238,64	282,16	229,05	294,91	604,94	900,17
69	-6,80	243,53	287,96	234,08	301,35	626,85	927,29
70	-6,90	248,45	293,82	239,17	307,86	649,24	954,97
71	-7,00	253,42	299,72	244,30	314,43	672,12	983,19
72	-7,10	258,43	305,67	249,48	321,05	695,49	1011,97
73	-7,20	263,48	311,67	254,70	327,74	719,36	1041,31
74	-7,30	268,57	317,71	259,98	334,49	743,73	1071,23
75	-7,40	273,70	323,81	265,30	341,30	768,61	1101,71
76	-7,50	278,87	329,96	270,67	348,16	794,00	1132,78
77	-7,60	284,09	336,16	276,09	355,09	819,91	1164,44
78	-7,70	289,35	342,40	281,55	362,08	846,34	1196,68
79	-7,80	294,65	348,70	287,07	369,13	873,29	1229,53
80	-7,90	299,99	355,04	292,63	376,23	900,77	1262,97
81	-8,00	305,37	361,44	298,23	383,40	928,79	1297,03
82	-8,10	310,79	367,88	303,89	390,63	957,34	1331,70
83	-8,20	316,25	374,37	309,59	397,92	986,44	1366,99
84	-8,30	321,76	380,91	315,34	405,27	1016,08	1402,91
85	-8,40	327,31	387,51	321,14	412,68	1046,28	1439,46
86	-8,50	332,90	394,15	326,99	420,15	1077,04	1476,64
87	-8,60	338,53	400,84	332,88	427,68	1108,35	1514,47
88	-8,70	344,20	407,58	338,82	435,27	1140,23	1552,95
89	-8,80	349,91	414,37	344,81	442,92	1172,69	1592,09
90	-8,90	355,66	421,20	350,84	450,63	1205,71	1631,88
91	-9,00	361,46	428,09	356,93	458,40	1239,32	1672,34
92	-9,10	367,30	435,03	363,06	466,23	1273,51	1713,48
93	-9,20	373,18	442,02	369,24	474,12	1308,29	1755,29
94	-9,30	379,10	449,05	375,46	482,07	1343,67	1797,78

n°	X [m]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]	T _{min} [kN]	T _{max} [kN]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]
95	-9,40	385,06	456,14	381,74	490,08	1379,64	1840,97
96	-9,50	391,06	463,27	388,06	498,15	1416,21	1884,85
97	-9,60	397,11	470,45	394,43	506,28	1453,39	1929,43

Mensola valle

n°	X [m]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]	T _{min} [kN]	T _{max} [kN]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]
1	-0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-0,73	0,00	0,00	1,47	1,53	0,06	0,06
3	-0,65	0,00	0,00	2,94	3,05	0,22	0,23
4	-0,57	0,00	0,00	4,41	4,58	0,50	0,51
5	-0,50	0,00	0,00	5,88	6,10	0,88	0,92

Piastra fondazione

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
868	233,57 (3)	1400,86 (3)	0,00 (3)	0,00 (3)	-1167,53 (3)	MAX
1620	-1344,83 (1)	-4482,78 (1)	-144,13 (1)	0,00 (1)	-1884,64 (1)	MIN
1633	222,23 (1)	1543,82 (1)	-4,03 (1)	-42,32 (1)	-1228,82 (1)	MAX
1620	-1344,83 (1)	-4482,78 (1)	-144,13 (1)	0,00 (1)	-1884,64 (1)	MIN
1400	36,50 (1)	155,87 (1)	523,67 (1)	78,55 (1)	-400,69 (1)	MAX
327	36,50 (1)	155,87 (1)	-523,67 (1)	-78,55 (1)	-400,69 (1)	MIN
144	-377,01 (1)	-773,26 (1)	-119,28 (1)	457,77 (1)	-807,23 (1)	MAX
1542	-377,01 (1)	-773,26 (1)	119,28 (1)	-457,77 (1)	-807,23 (1)	MIN
261	-114,88 (1)	15,65 (1)	0,00 (1)	0,09 (1)	139,94 (1)	MAX
1620	-1344,83 (1)	-4482,78 (1)	-144,13 (1)	0,00 (1)	-1884,64 (1)	MIN

Sollecitazioni pali

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	-441,52	-11038,04	-581,41	-763,10	-1114,81	-1463,19
22	5,25	-337,57	-10850,66	7,76	17,95	439,40	678,79
37	9,00	-261,04	-10577,42	55,33	85,59	291,60	440,20
101	25,00	79,74	-8563,50	-0,23	-0,36	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	1455,73	15779,33	-581,41	-763,10	-1114,81	-1463,19
22	5,25	1528,97	15592,03	7,76	17,95	439,40	678,79
37	9,00	1559,12	15318,89	55,33	85,59	291,60	440,20
66	16,25	1582,44	14565,95	14,06	20,77	17,35	23,63

Palo n° 3

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	3352,98	15779,98	-581,41	-763,10	-1114,81	-1463,19
22	5,25	3398,95	15592,61	7,76	17,95	439,40	678,79
23	5,50	3398,97	15576,86	15,02	28,59	437,46	674,31
37	9,00	3387,90	15319,37	55,33	85,59	291,60	440,20
101	25,00	3066,53	13305,49	-0,23	-0,36	0,00	0,00

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	-662,81	-15779,57	-546,21	-802,24	-996,29	-1463,30
21	5,00	-554,61	-15607,66	5,37	18,24	428,95	800,94
36	8,75	-463,12	-15339,82	53,99	100,97	288,45	524,44
101	25,00	0,00	-13305,91	-0,23	-0,42	0,00	0,00

Palo n° 2

PROGETTAZIONE ATI:

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	1298,22	15779,41	-546,21	-802,24	-996,29	-1463,30
21	5,00	1371,08	15607,50	5,37	18,24	428,95	800,94
36	8,75	1405,41	15339,65	53,99	100,97	288,45	524,44
74	18,25	1441,66	14306,12	4,39	7,40	-3,56	-8,57

Palo n° 3

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	3259,24	15779,33	-546,21	-802,24	-996,29	-1463,30
21	5,00	3306,31	15607,41	5,37	18,24	428,95	800,94
24	5,75	3306,73	15560,18	25,11	52,81	419,62	777,96
36	8,75	3298,89	15339,55	53,99	100,97	288,45	524,44
101	25,00	2991,56	13305,57	-0,23	-0,42	0,00	0,00

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	-632,26	-15774,97	-554,91	-792,26	-1024,83	-1463,19
21	5,00	-526,07	-15602,96	4,18	15,55	432,89	775,76
36	8,75	-437,83	-15334,95	54,47	97,76	293,23	511,60
101	25,00	0,00	-13300,04	-0,23	-0,41	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	1323,30	15780,36	-554,91	-792,26	-1024,83	-1463,19
21	5,00	1395,84	15608,35	4,18	15,55	432,89	775,76
36	8,75	1429,63	15340,35	54,47	97,76	293,23	511,60
73	18,00	1463,86	14340,00	5,43	8,89	-1,95	-5,59

Palo n° 3

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	3278,87	15779,54	-554,91	-792,26	-1024,83	-1463,19
21	5,00	3325,67	15607,59	4,18	15,55	432,89	775,76
24	5,75	3326,02	15560,35	24,45	49,62	424,32	754,94
36	8,75	3317,84	15339,68	54,47	97,76	293,23	511,60
101	25,00	3007,25	13305,37	-0,23	-0,41	0,00	0,00

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	-606,80	-15169,88	-526,63	-800,84	-962,08	-1463,04
21	5,00	-502,28	-14997,87	4,41	18,22	406,14	802,24
36	8,75	-416,74	-14729,87	51,11	101,13	274,26	525,37
101	25,00	0,00	-12695,00	-0,21	-0,42	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	1232,48	15779,65	-526,63	-800,84	-962,08	-1463,04
21	5,00	1306,21	15606,72	4,41	18,22	406,14	802,24
36	8,75	1341,94	15339,86	51,11	101,13	274,26	525,37
78	19,25	1383,92	14167,88	1,46	2,20	-6,34	-13,91

Palo n° 3

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	3071,76	15778,78	-526,63	-800,84	-962,08	-1463,04
21	5,00	3121,30	15606,87	4,41	18,22	406,14	802,24
26	6,25	3122,67	15526,39	32,66	69,82	384,88	750,57
36	8,75	3117,87	15339,01	51,11	101,13	274,26	525,37
101	25,00	2841,62	13305,04	-0,21	-0,42	0,00	0,00