

**S.S. 398 "Via Val di Cornia"**  
Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12  
e il Porto di Piombino  
LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **FI2**

PROGETTAZIONE: **ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:  
Dott. Ing. Nando Granieri  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:  
MANDATARIA:

 Sintagma

 GEOTECHNICAL DESIGN GROUP

 ICARIA società di ingegneria

Dott. Ing. N. Granieri  
Dott. Arch. N. Kamenicky  
Dott. Ing. V. Truffini  
Dott. Arch. A. Bracchini  
Dott. Ing. F. Durastanti  
Dott. Geol. G. Cerquiglini  
Geom. S. Scopetta  
Dott. Ing. L. Sbrenna  
Dott. Ing. E. Sellari  
Dott. Ing. E. Bartolucci  
Dott. Ing. L. Dinelli  
Dott. Ing. L. Nani  
Dott. Ing. F. Pambianco  
Dott. Agr. F. Berti Nulli

Dott. Ing. D. Carlacchini  
Dott. Ing. S. Sacconi  
Dott. Ing. G. Cordua  
Dott. Ing. V. De Gori  
Dott. Ing. C. Consorti  
Dott. Ing. F. Dominici

Dott. Ing. V. Rotisciani  
Dott. Ing. F. Macchioni  
Geom. C. Vischini  
Dott. Ing. V. Piunno  
Dott. Ing. G. Pulli  
Geom. C. Sugaroni

IL PROGETTISTA:  
Dott. Ing. Vladimiro Rotisciani  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A376

IL GEOLOGO:  
Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL R.U.P.  
Dott. Ing. Antonio Scalamandrè

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:  
Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

MARZO 2019



**OPERE D'ARTE MINORI**  
**RAMO 4 - MURO DI SOSTEGNO IN C.A.**  
Relazione geotecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00-OS04-STR-RE01		
DPFI12	E	1801	CODICE ELAB. T00OS04STRRE01	A	-
A	Emissione		29/03/2019	F. Macchioni	N. Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

---

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

---

INDICE

1. PREMESSA .....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
3. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO .....	4
3.1 STRATIGRAFIE DI CALCOLO .....	4
4. GEOMETRIA DELL'OPERA .....	6
5. MATERIALI .....	8
5.1 CALCESTRUZZO .....	8
5.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO .....	9
6. CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI .....	10
6.1 CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	13
7. CRITERI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE .....	18
7.1 STABILITÀ LOCALE E CARICO LIMITE FONDAZIONE-TERRENO (GEO) .....	18
7.2 STABILITÀ GLOBALE DELL'OPERA SUL PENDIO .....	27
8. VERIFICHE DI STABILITÀ LOCALE E DI COLLASSO PER CARICO LIMITE FONDAZIONE- TERRENO (GEO) .....	30
9. VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DELL'OPERA SUL PENDIO (GEO) .....	51
10. VERIFICHE DI RESISTENZA (STR) .....	55
10.1 VERIFICHE SLU .....	55
10.2 VERIFICHE SLE .....	65

---

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

---

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione vengono presentati i calcoli di verifica del muro di sostegno in c.a. relativo al "Ramo 4", da realizzarsi nell'ambito dell'intervento denominato "SS. 398 Via Val di Cornia - Bretella di collegamento tra l'Autostrada Tirrenica A12 e il Porto di Piombino - LOTTO 1 - Svincolo di Geodetica-Gagno".

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L. 05.11.1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica

D.M. del 09.01.1996. Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. del 16.01.1996. Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

D.M. del 16.01.1996. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Circolare Ministeriale del 04.07.1996 n. 156AA.GG./STC. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al Decreto Ministeriale 16.01.1996.

L. 02.02.1974, n. 64. Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per zone sismiche.

D.M. LL. PP. 11.03.1988. Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministeriale del 24.07.1988, n. 30483/STC.

Legge 2 Febbraio 1974 n. 64, art. 1 - D.M. 11 Marzo 1988. Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Circolare Ministeriale del 15.10.1996 N°252. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M.09.01.1996

Circolare Ministeriale del 10.04.1997 N°65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M.16.01.1996

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3274 del 20.03.2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N°3431 del 10.05.2005. Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza N°3274.

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.09.2005 (TU 2005)

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.01.2008 (NTC 2008)

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17.01.2018 (NTC 2018).

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

### 3. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

La campagna di indagini effettuata ha permesso il riconoscimento dei litotipi, la successione stratigrafica e la caratterizzazione meccanica dei terreni lungo tutto lo sviluppo del tracciato di progetto. I risultati di dette indagini sono descritti nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

#### 3.1 STRATIGRAFIE DI CALCOLO

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipi		Parametri geotecnici				
Cod.	Descrizione	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	c' (KPa)	$\phi'$ (deg)	C <sub>u</sub> (KPa)	E' (MPa)
UG0	Riperti, coperture antropiche, colmate	18.5	-	35	-	15
UG1	Argille e limi lacustri organici	17.0	10	24	30	-
UG2	Argille e limi molto poco consistenti	19.5	30	25	100	-
UG3	Sabbie limose mediamente addensate	20.0	0	32	-	25
UG4b	Limi sabbioso ghiaiosi molto consistenti	20.0	20	32	-	50
UG4a	Substrato roccioso	26.0	50	40	-	100

La falda risulta ubicata a circa 4.00m di profondità dal piano di campagna.

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella categoria "C", come riportato nella Relazione sismica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda il materiale con cui si effettua il riempimento a tergo delle opere (RILEVATO), si assumono le seguenti caratteristiche:

Cod.	Descrizione	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	c' (KPa)	$\phi'$ (deg)
R	Riempimento	18	0	35

Per maggiori dettagli sulle caratteristiche dei terreni si faccia riferimento agli elaborati di carattere geotecnico (relazione geotecnica, profili geotecnici).

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

La stratigrafia assunta nei calcoli è specificata nella tabella di seguito (i parametri impiegati si riferiscono alle condizioni drenate):

Ns	Descrizione	Spessore strato (cm)	Inclinazione dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)
1	RILEVATO	936	0	18,00	35	0,00	23	No
2	UG0	80	0	18,50	35	0,00	26	No
3	UG2	180	0	19,50	25	30,00	25	No
4	UG3	460	0	20,00	32	0,00	32	Si
5	UG2	240	0	19,50	25	30,00	25	Si
6	UG3	500	0	20,00	32	0,00	32	Si
7	UG2	960	0	19,50	25	30,00	25	Si
8	UG2	510	0	19,50	25	30,00	25	Si
9	UG4b	500	0	20,00	32	20,00	32	Si
10	UG4a	400	0	26,00	40	50,00	40	Si

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

#### 4. GEOMETRIA DELL'OPERA

Il muro di sostegno in oggetto è costituito da una struttura in c.a. di spessore pari a 45 cm in testa e variabile alla base, essendo il paramento interno inclinato con una pendenza di 1/10.

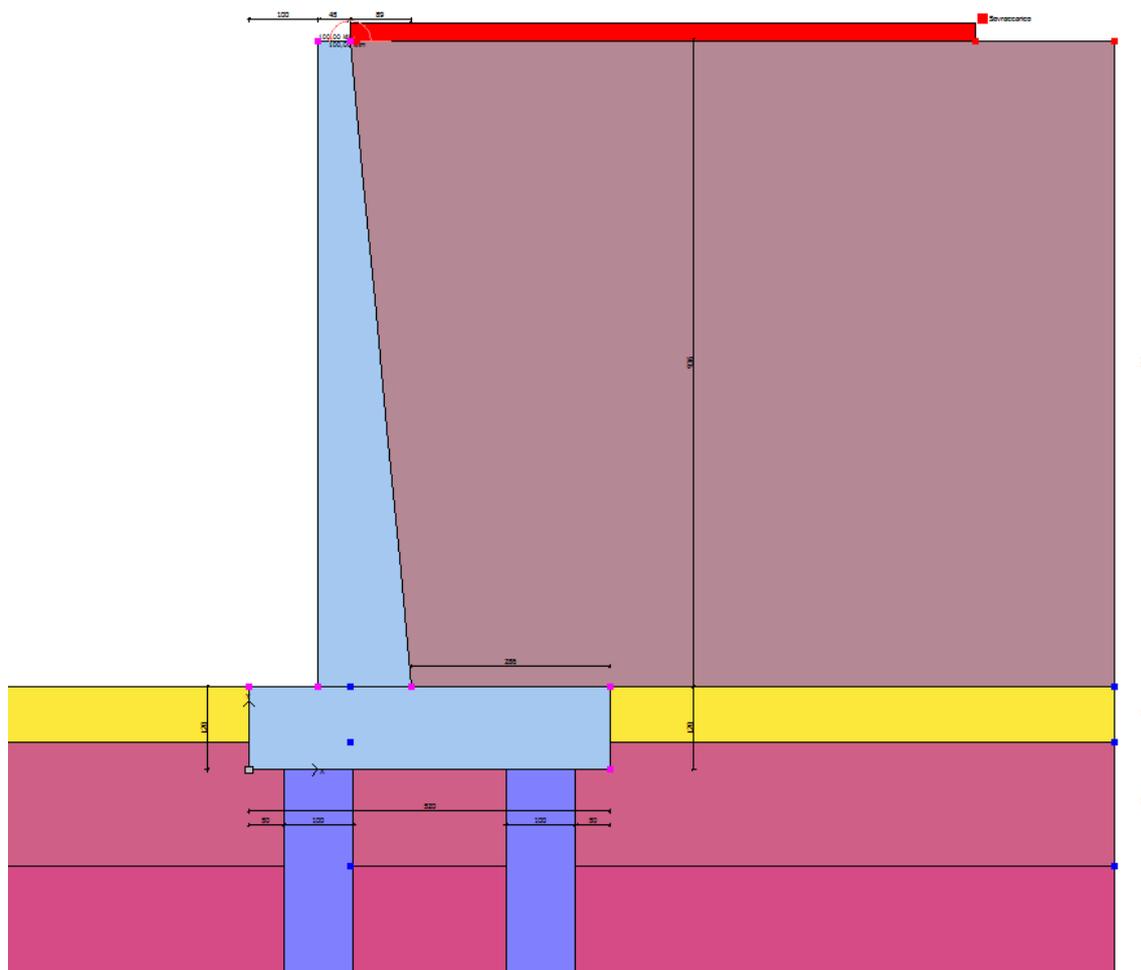
Il paramento presenta un'altezza variabile tra 8.72 e 9.36 m.

Le strutture di fondazione sono di tipo profondo a platea (di spessore pari a 1.20 m e larghezza di 5.20 m) su una doppia fila di pali D=1000 lunghi 35.00 m.

Per il calcolo viene analizzata una porzione di struttura di lunghezza unitaria, e con i carichi spalmati su tale lunghezza di calcolo.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

La rappresentazione schematica del muro impiegata nei calcoli di verifica, ed il sistema di riferimento impiegato, è riportata di seguito:



---

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

---

Le dimensioni dei vari elementi sono riepilogate di seguito:

Altezza muro	936,0 cm
Spessore testa muro	45,0 cm
Risega muro lato valle	0,0 cm
Risega muro lato monte	89,0 cm
Sporgenza mensola a valle	100,0 cm
Sporgenza mensola a monte	286,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	120,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	120,0 cm
Pali	
Sezione dei pali	100,0 cm
Lunghezza dei pali	3500,0 cm
Distanza asse da estremità mensola	100,0 cm
Interasse longitudinale	300,0 cm
Disposizione in pianta	Allineati
Verticali indagate	
Numero verticali indagate	1,0
Fattore correlazione verticali indagate (xi3)	1,7
Fattore correlazione verticali indagate (xi4)	1,7

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

## 5. MATERIALI

### 5.1 CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo può essere preconfezionato in centrale di betonaggio o impastato in cantiere con inerti di caratteristiche meccaniche appropriate, granulometria e rapporto acqua-cemento controllati.

Gli impasti devono essere preparati e trasportati in modo da escludere pericoli di segregazione dei componenti e di prematuro inizio della presa al momento del getto.

I componenti dovranno soddisfare i seguenti requisiti normativi:

Leganti	-	L. 26/05/1965 n. 595
	-	Norme serie EN 197 armonizzata
Aggregati	-	UNI EN 12620 armonizzata
	-	UNI EN 13055-1 armonizzata
	-	UNI 8520-1 : 2005
	-	UNI 8520-2: 2005
Aggiunte	-	EN 450-1
	-	UNI EN 206-1 :2006
	-	UNI 11104:2004
Additivi	-	EN 934-2 armonizzata
Acqua di impasto	-	UNI EN 1008: 2003

Le miscele di calcestruzzo da utilizzare nel confezionamento degli elementi saranno progettate in funzione della resistenza caratteristica richiesta, della carpenteria, delle armature e del tipo di getto.

CALCESTRUZZO TIPO 1 (pali di fondazione, platea e parete muro)

Classe di resistenza	C32/40 ( $R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ )
Classe di esposizione (UNI EN 206-1)	XA2
Classe di consistenza	S4
Rapporto acqua – cemento (a/c)	0.50
Contenuto minimo di cemento	340 kg/m <sup>3</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.1 \text{ N/mm}^2$

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.17 \text{ N/mm}^2$
Fattore parz. di sicurezza resistenza	$\gamma_c = 1.5$
Coeff. Riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} = 0.85$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 18.81 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1.44 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità	$E_{cm} = 22000 \cdot \left[ \frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3} = 33642.8 \text{ N/mm}^2$
Copriferro di calcolo	5 cm
Calcestruzzo magro per fondazione:	
Si prevede un calcestruzzo di classe C 12/15.	

## 5.2 ACCIAIO PER CALCESTRUZZO ARMATO

Si prevede l'impiego di acciaio del tipo B450C saldabile controllato in stabilimento.

L'accertamento delle proprietà meccaniche dovrà essere conforme alle seguenti normative sull'acciaio: EN 10002/1° (marzo 1990)-UNI 564 (febbraio 1960)-UNI 6407 (marzo 1969).

Acciaio	B450C
Tensione di rottura nominale	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
Tensione di snervamento nominale	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
Allungamento a rottura caratteristico	$(A_{gt})_k \geq 7.5 \%$
Coefficiente parziale di sicurezza:	$\phi_s = 1.15$
Tensione di snervamento di calcolo:	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 391 \text{ N/mm}^2$

Le caratteristiche degli acciai impiegati saranno comprovate mediante prove su campioni da prelevare in cantiere in fase di esecuzione dell'opera con le modalità prescritte nel D.M. 14.01.08.

## 6. CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Per il progetto in essere, in accordo con la committenza, sono stati scelti i seguenti valori dei parametri di progetto relativi alla tipologia e all'uso a cui le strutture sono destinate:

Vita nominale  $V_N = 50$  anni

Classe d'uso IV (coefficiente d'uso  $C_U = 2$ )

Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2 = 100$  anni

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

SLO – Stato limite di operatività

SLD – Stato limite di danno

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SLV – Stato limite di salvaguardia della vita

SLC – Stato limite di collasso

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

$a_g$  – Accelerazione massima orizzontale al sito

$F_0$  – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

$T^*_C$  – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Di seguito di riportano i dati relativi alla valutazione delle azioni sismiche per l'opera considerata:

Ubicazione sito

Lat./Long. [WGS84]

42,966983/10,553902

Coefficienti sismici [N.T.C. 2018]

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	100,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60,0	0,27	2,7	0,2
S.L.D.	101,0	0,32	2,74	0,22
S.L.V.	949,0	0,54	2,84	0,29
S.L.C.	1950,0	0,63	2,91	0,3

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti  $S_S$  e  $S_T$  che assumono i seguenti valori:

$$S_S = 1.432$$

$S_T = 1.0$  (categoria T1 - superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

Pertanto risulta:

$$S = S_S \times S_T = 1.432 \times 1.0 = 1.432$$

Lo spettro di progetto coincide con quello elastico dal momento che le strutture vengono considerate non dissipative. Pertanto il fattore di struttura impiegato nelle analisi risulta:

$q = 1.00$ , fattore di struttura.

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,405	1,0	0,0413	0,0207
S.L.D.	0,48	0,47	0,023	0,0115
S.L.V.	0,81	0,38	0,0314	0,0157
S.L.C.	0,945	1,0	0,0964	0,0482

Per quanto riguarda le altre azioni, a tergo del muro si pone in un sovraccarico accidentale pari a  $q = 20 \text{ kN/m}^2$  per simulare il traffico sul rilevato stradale da sostenere.

In accordo con le NTC 2018 sono state condotte le seguenti verifiche:

- Scorrimento, capacità portante e verifiche strutturali secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3)
- Stabilità globale secondo la combinazione STAB (A2+M2+R2)

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

I coefficienti amplificativi o riduttivi delle forze, i coefficienti riduttivi dei parametri geotecnici ed i coefficienti riduttivi delle resistenze sono riassunti nelle tabelle seguenti:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> 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  $\gamma_{G1}$

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

 Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

## 6.1 CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini dei calcoli sono definite le seguenti azioni:

Carichi concentrati

Descrizione	Posizione x (cm)	Posizione y (cm)	Fx (kN/m)	Fy (kN/m)	Mz (kNm/m)
Urto veicoli	145,0	1056,0	100,0	0,0	100,0

Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
Sovraccarico	0,0	900,0	20,0	20,0	0,0

Si riportano nelle tabelle di seguito, i fattori di combinazione impiegati nelle verifiche per le varie condizioni.

A2+M2+R2

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,30
2	Spinta terreno	1,00

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

3	Peso terreno mensola	1,30
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00
7	Sovraccarico	1,30
8	Urto veicoli	1,15

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Coefficiente totale	1
4	Laterale (trazione)	1
5	Orizzontale	1
	Riduzione resistenza	Parziale

## A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,30
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,30
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00
7	Sovraccarico	1,50
8	Urto veicoli	1,35

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1,35
2	Laterale compressione	1,15
3	Coefficiente totale	1,3
4	Laterale (trazione)	1,25
5	Orizzontale	1,3

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

	Riduzione resistenza	Parziale
--	----------------------	----------

SISMA (A1+M1+R3)

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00
7	Sovraccarico	1,00
8	Urto veicoli	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1,35
2	Laterale compressione	1,15
3	Coefficiente totale	1,3
4	Laterale (trazione)	1,25
5	Orizzontale	1,3
	Riduzione resistenza	Parziale

SLE RARA

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Sovraccarico	0,40
8	Urto veicoli	0,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Coefficiente totale	1
4	Laterale (trazione)	1
5	Orizzontale	1
	Riduzione resistenza	Parziale

SLE FREQ

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Sovraccarico	0,40
8	Urto veicoli	0,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Coefficiente totale	1
4	Laterale (trazione)	1
5	Orizzontale	1
	Riduzione resistenza	Parziale

SLE QP

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	0,00
6	Spinta sismica in y	0,00
7	Sovraccarico	0,00
8	Urto veicoli	0,00

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Carico limite	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Coefficiente totale	1
4	Laterale (trazione)	1
5	Orizzontale	1
	Riduzione resistenza	Parziale

## 7. CRITERI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

### 7.1 STABILITÀ LOCALE E CARICO LIMITE FONDAZIONE-TERRENO (GEO)

Calcolo della spinta attiva con Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Coulomb* è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta  $S_t$  è applicata ad  $1/3$  H di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di  $K_a$ :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$  secondo Muller-Breslau

$\gamma_t$  Peso unità di volume del terreno;

$\beta$  Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

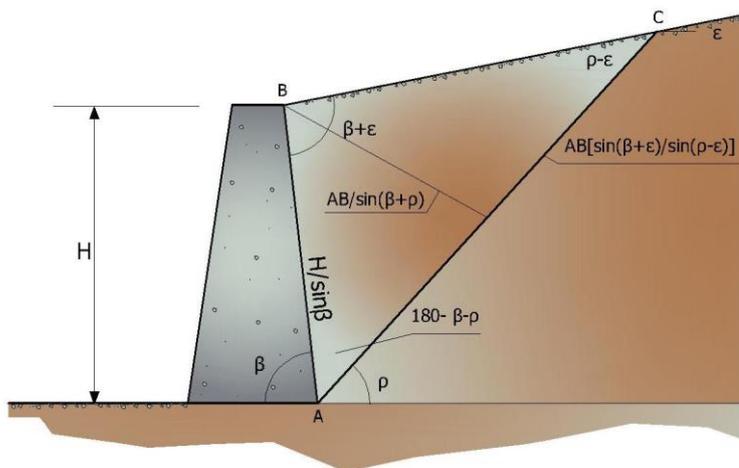
$\varphi$  Angolo di resistenza al taglio del terreno;

$\delta$  Angolo di attrito terra-muro;

$\varepsilon$  Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H Altezza della parete.

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO



Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

Calcolo della spinta attiva con Rankine

Se  $\varepsilon = \delta = 0$  e  $\beta = 90^\circ$  (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta  $S_t$  si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1 - \sin\varphi)}{(1 + \sin\varphi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale.

In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di  $K_a$  di Rankine si presenta come segue:

$$K_a = \cos\varepsilon \frac{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}$$

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo  $\varepsilon$ , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo  $\beta$ , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità  $\vartheta$  tale che:

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

$$\tan \vartheta = \left( \frac{k_h}{1 \pm k_h} \right)$$

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  verticale.

Effetto dovuto alla coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica  $Z_c$  come segue:

$$Z_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_a}} - \frac{Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}}{\gamma}$$

Dove:

$Q$  = Carico agente sul terrapieno.

Se  $Z_c < 0$  è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_c = P_c \cdot H$$

con punto di applicazione pari a  $H/2$ .

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico  $Q$ , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a  $S_q$ :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione ad  $H/2$ , avendo indicato con  $K_a$  il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau*.

Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot KH^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove:

- H Altezza muro;  
 $k_v$  Coefficiente sismico verticale;  
 $\gamma$  Peso per unità di volume del terreno;  
K Coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico);  
 $E_{ws}$  Spinta idrostatica dell'acqua;  
 $E_{wd}$  Spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica  $E_{wd} = 0$ , ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo  $\vartheta$  della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con H' altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante  $H_w$  dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z, sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo  $\gamma_t$  con  $\gamma'_t$  ( $\gamma'_t = \gamma_{saturo} - \gamma_w$ ), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Resistenza passiva

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\sin^2(\varphi + \beta)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi + \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di  $\delta$  pari a:

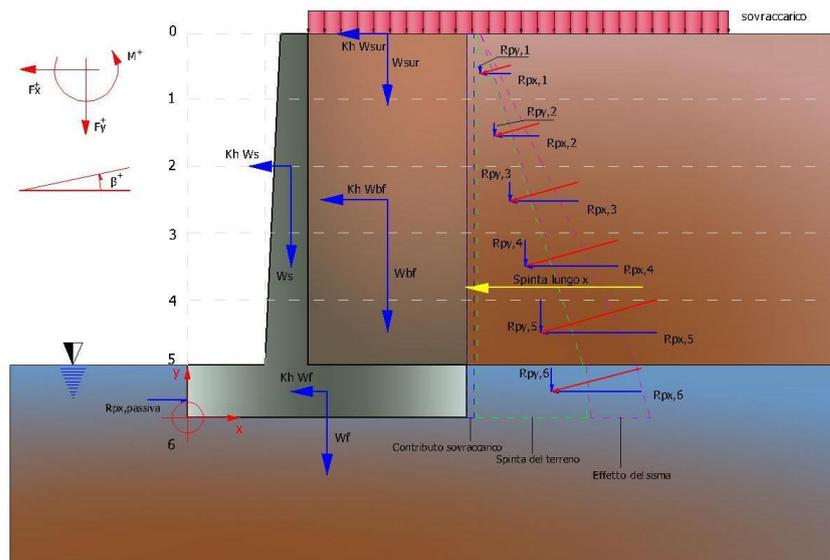
$$\delta < \beta - \varphi - \varepsilon$$

L'espressione di  $K_p$  secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}$$

Sollecitazioni muro

Per il calcolo delle sollecitazioni il muro è stato discretizzato in n-tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto sono state calcolate le spinte del terreno (valutate secondo un piano di rottura passante per il paramento lato monte), le risultanti delle forze orizzontali e verticali e le forze inerziali.



Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Calcolo delle spinte per le verifiche globali

Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in  $n$ -tratti.

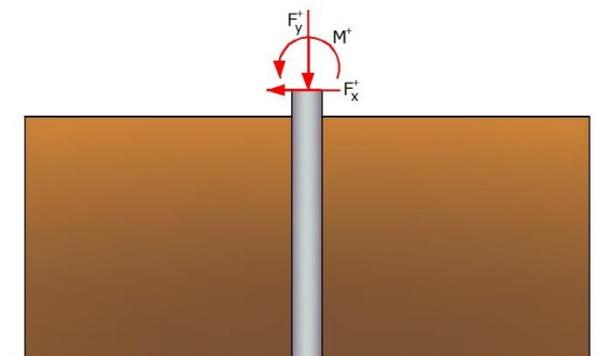
Convenzione segni

- Forze verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;
- Forze orizzontali positive se dirette da monte verso valle;
- Coppie positive se antiorarie;
- Angoli positivi se antiorari.

CALCOLO DEI PALI DI FONDAZIONE

Convenzioni sui segni

- a) La forza verticale  $F_y$ , positiva se diretta verso il basso.
- b) La forza orizzontale  $F_x$  positiva da sinistra verso destra.
- c) La coppia  $M$  è positiva se produce spostamenti concordi con quelli della forza orizzontale  $F_x$ .



Convenzione sui segni

Analisi del palo in condizioni di esercizio: Modello di Winkler

Il modello di *Winkler* consente di tenere conto in modo semplice della variabilità delle proprietà meccaniche del terreno e delle stratificazioni.

In presenza di mezzo omogeneo ( $K$  costante) è stata adottata la classifica di Hetényi che distingue tre possibili comportamenti del palo su mezzo alla Winkler, in funzione del valore che assume la rigidità relativa ( $\lambda$ ) terreno palo ossia: palo di tipo corto o rigido, palo relativamente flessibile, palo infinitamente flessibile.

Carico limite verticale

Il carico limite verticale è stato calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione

---

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

---

della geometria del palo e delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno.

Ai fini del calcolo, il carico limite  $Q_{lim}$  viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta  $Q_p$  e la resistenza laterale  $Q_s$ .

Resistenza unitaria alla punta

La resistenza unitaria  $q_p$  alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito ( $\varphi$ ) e di coesione ( $c$ ), è data dall'espressione:

$$q_p = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q$$

Avendo indicato con:

$\gamma$  Peso unità di volume del terreno;

$D$  Lunghezza del palo;

$N_c$  e  $N_q$  Fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare).

Il fattore  $N_q$  è stato calcolato secondo la teoria di *Berezantzev*.

Resistenza del fusto

Il contributo alla resistenza di fusto viene calcolato utilizzando una combinazione di sforzi totali ed efficaci. Sono previsti tre procedimenti di calcolo di uso corrente. Due dei quali di validità generale per la resistenza laterale di pali collocati in terreni coesivi. Questi metodi prendono il nome di  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\lambda$  dai coefficienti moltiplicativi usati nel termine della capacità portante laterale

Metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale metodo  $\alpha$ , proposto da *Tomlinson (1971)*; la resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$f_s = \alpha \cdot c + q \cdot K \cdot \tan \delta$$

$c$  Valore medio della coesione o della resistenza a taglio in condizioni non drenate;

$q$  Pressione verticale del terreno;

$K$  Coefficiente di spinta orizzontale dipendente dalla tecnologia del palo e dal precedente stato di addensamento calcolato come segue:

Per pali infissi

$$K = 1 + \tan^2 \varphi$$

Per pali trivellati

$$K = 1 - \tan^2 \varphi$$

$\delta$  attrito palo-terreno, funzione della scabrezza della superficie del palo.

Per pali infissi

---

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

---

$$\delta = \frac{3}{4} \cdot \tan\varphi$$

Per pali trivellati

$$\delta = \tan\varphi$$

$\alpha$  è un coefficiente ricavato come di seguito riportato:

Coefficiente  $\alpha$  per palo infisso

$c < 0.25$	$\alpha = 1.00$
$0.25 < c < 0.5$	$\alpha = 0.85$
$0.5 < c < 0.75$	$\alpha = 0.65$
$0.75 < c < 2.4$	$\alpha = 0.50$
$c > 2.4$	$\alpha = 1.2 / c$

Coefficiente  $\alpha$  per palo trivellato

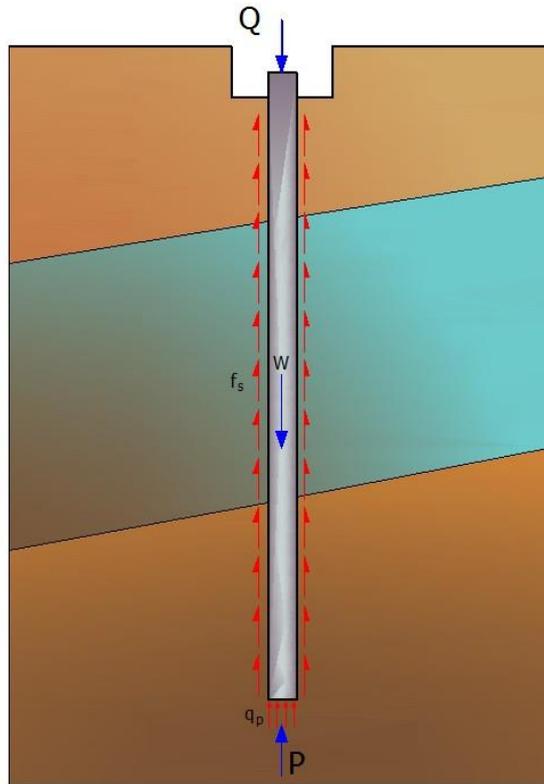
$c < 0.25$	$\alpha = 0.9$
$0.25 < c < 0.5$	$\alpha = 0.8$
$0.5 < c < 0.75$	$\alpha = 0.6$
$0.75 < c < 2$	$\alpha = 0.4$
$c > 2$	$\alpha = 0.8 / c$

Secondo le indicazioni di Okamoto in presenza di effetti sismici la resistenza laterale viene ridotta in funzione del coefficiente sismico  $k_h$  come segue:

$$C_{\text{reduct\_coeff}} = 1 - k_h$$

- Per i pali trivellati sia le caratteristiche di resistenza ( $c$ ,  $\varphi$ ) sia il coefficiente del modulo orizzontale del terreno sono stati ridotti del 10%.
- In caso azioni di trazione il carico alla punta è nullo mentre quello laterale è stato ridotto al 70%.
- Nel coefficiente di sicurezza verticale si è tenuto in debito conto anche del peso palo.

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO



Schema delle aliquote di resistenza del carico limite

Cedimenti

Il cedimento verticale è stato calcolato con il metodo Davis-Poulos, secondo il quale il palo viene considerato rigido (indeformabile) immerso in un mezzo elastico, semispazio o strato di spessore finito.

Si ipotizza che l'interazione palo terreno sia costante a tratti lungo  $n$  superfici cilindriche in cui viene suddivisa la superficie laterale del palo. Il cedimento della generica superficie  $i$  per effetto del carico trasmesso dal palo al terreno lungo la superficie  $j$  esima può essere espresso:

$$W_{i,j} = \left( \frac{\tau_j}{E} \right) \cdot B \cdot I_{i,j}$$

Avendo indicato con:

- $\tau_j$  Incremento di tensione relativo al punto medio della striscia;
- $E$  Modulo elastico del terreno;
- $B$  Diametro del palo;
- $I_{i,j}$  Coefficiente di influenza.

Il cedimento complessivo si ottiene sommando  $W_{i,j}$  per tutte le  $j$  aree.

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

7.2 STABILITA' GLOBALE DELL'OPERA SUL PENDIO

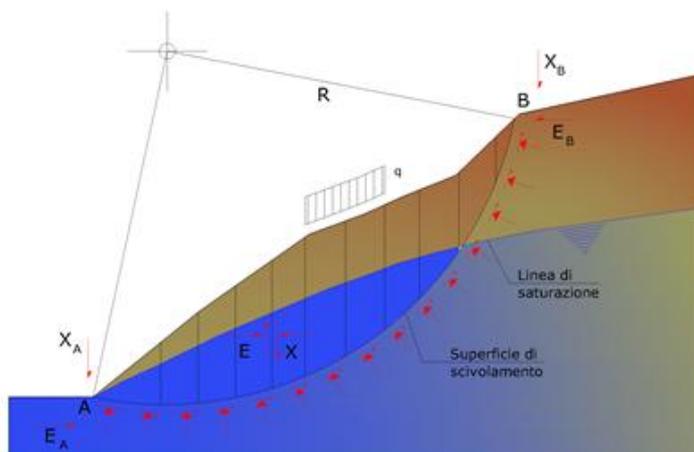
Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ . Mentre le equazioni a disposizione sono:

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

- equazioni di equilibrio dei momenti  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$ ;
- equazioni relative al criterio di rottura  $n$ .

Totale numero di equazioni  $4n$ .

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quanto si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

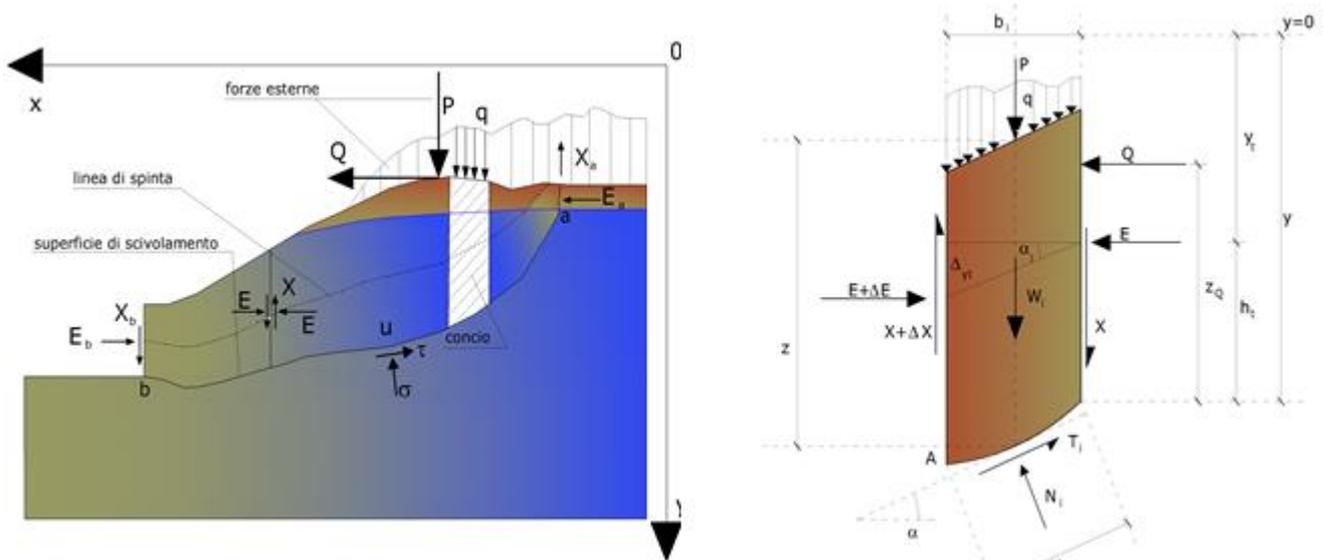
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$



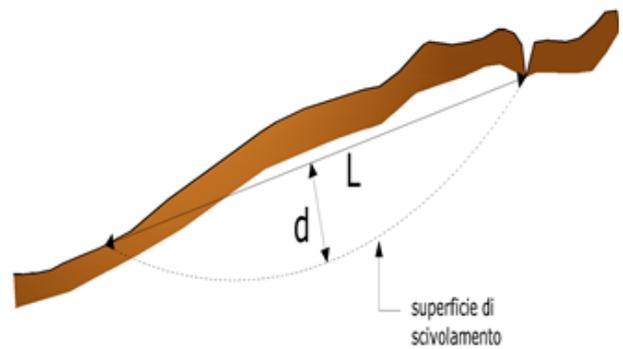
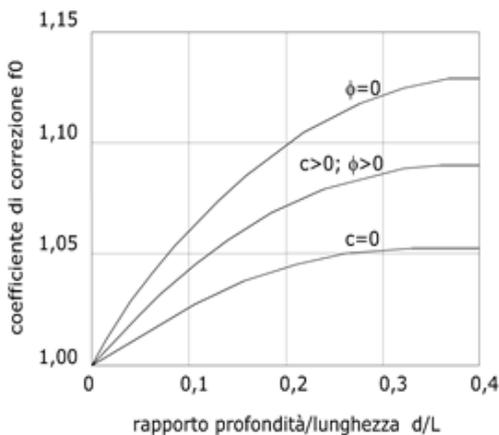
Azioni sul conco  $i$ -esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



$$F_{sm} = F_{sf}$$

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da  $m$  righe e  $n$  colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

## 8. VERIFICHE DI STABILITÀ LOCALE E DI COLLASSO PER CARICO LIMITE FONDAZIONE-TERRENO (GEO)

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità locale (scorrimento, ribaltamento e carico limite) per le varie combinazioni di carico.

L'analisi del muro di sostegno su pali è stata condotta mediante il software MDC della GEOSTRU, con il quale sono stati eseguiti anche i calcoli di verifica strutturale del paramento e dei pali stessi, secondo i criteri esposti nei paragrafi precedenti.

### A2+M2+R2 [GEO+STR]

#### CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
1056,0	868,8	18,0	0,0	29,26	23,3	0,0	5,0	
868,8	681,6	18,0	0,0	29,26	23,3	0,0	5,0	
681,6	494,4	18,0	0,0	29,26	23,3	0,0	5,0	
494,4	307,2	18,0	0,0	29,26	23,3	0,0	5,0	
307,2	120,0	18,0	0,0	29,26	23,3	0,0	5,0	

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
28,3	0,34	0,0	0,0	0,3	0,16	0,0	0,0
28,3	0,34	0,0	0,0	0,3	0,16	0,0	0,0
28,3	0,34	0,0	0,0	0,3	0,16	0,0	0,0
28,3	0,34	0,0	0,0	0,3	0,16	0,0	0,0
28,3	0,34	0,0	0,0	0,3	0,16	0,0	0,0

#### Spinte risultanti e punto di applicazione

MANDATARIA



MANDANTE



**ICARIA**  
società di ingegneria

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Qi Quota inizio strato.  
Qf Quota inizio strato.  
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	1056,0	868,8	19,39	10,44	947,07	947,07
2	868,8	681,6	38,44	20,7	767,47	767,47
3	681,6	494,4	57,5	30,96	582,83	582,83
4	494,4	307,2	76,56	41,22	396,92	396,92
5	307,2	120,0	95,61	51,48	210,49	210,49

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
Px Forza inerziale (kN);  
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

	Quota	Px	Py	Xp	Yp
	868,8	0,0	32,16	127,2	957,2
	681,6	0,0	74,93	132,2	851,1
	494,4	0,0	128,35	137,5	740,3
	307,2	0,0	192,35	142,9	626,5
	120,0	0,0	266,99	148,4	510,4

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);  
Qf Quota finale strato  
G Peso unità di volume (KN/m<sup>3</sup>);  
Eps Inclinazione dello strato. (°);  
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);  
Delta Angolo attrito terra muro;  
c Coesione (kPa);  
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
1056,0	868,8	18,0	0,0	29,26	29,26	0,0	0,0	
868,8	681,6	18,0	0,0	29,26	29,26	0,0	0,0	
681,6	494,4	18,0	0,0	29,26	29,26	0,0	0,0	
494,4	307,2	18,0	0,0	29,26	29,26	0,0	0,0	
307,2	120,0	18,0	0,0	29,26	29,26	0,0	0,0	
120,0	40,0	18,5	0,0	29,26	26,0	0,0	0,0	
40,0	0,0	19,5	0,0	20,46	25,0	24,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.  
Ka Coefficiente di spinta attiva.  
Kd Coefficiente di spinta dinamica.

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Dk Coefficiente di incremento dinamico.  
Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.  
Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
29,26	0,31	0,0	0,0	0,27	0,15	0,0	0,0
29,26	0,31	0,0	0,0	0,27	0,15	0,0	0,0
29,26	0,31	0,0	0,0	0,27	0,15	0,0	0,0
29,26	0,31	0,0	0,0	0,27	0,15	0,0	0,0
29,26	0,31	0,0	0,0	0,27	0,15	0,0	0,0
26,0	0,3	0,0	0,0	0,27	0,13	0,0	0,0
25,0	0,42	0,0	0,0	0,38	0,18	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.  
Qf Quota inizio strato.  
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	1056,0	868,8	17,08	9,57	947,07	947,07
2	868,8	681,6	33,87	18,97	767,47	767,47
3	681,6	494,4	50,66	28,38	582,83	582,83
4	494,4	307,2	67,45	37,78	396,92	396,92
5	307,2	120,0	84,23	47,18	210,49	210,49
6	120,0	40,0	41,3	22,74	79,48	79,54
7	40,0	0,0	11,54	7,1	19,66	19,74

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);  
Qf Quota finale strato  
G Peso unità di volume (KN/m<sup>3</sup>);  
Eps Inclinazione dello strato. (°);  
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);  
Delta Angolo attrito terra muro;  
c Coesione (kPa);  
 $\beta$  Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$	Note
120,0	0,0	19,5	180,0	20,46	25,0	24,0	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

$\mu$  Angolo di direzione della spinta.  
Kp Coefficiente di resistenza passiva.  
Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

$\mu$	Kp	Kpx	Kpy
-------	----	-----	-----

MANDATARIA



MANDANTE



**ICARIA**  
società di ingegneria

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

205,0            2,07            -1,88            -0,88

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi            Quota inizio strato.  
Qf            Quota inizio strato.  
Rpx, Rpy    Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
Z(Rpx)      Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
Z(Rpy)      Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	120,0	0,0	-101,59	0,0	54,8	0,0

Sollecitazioni totali

Fx            Forza in direzione x (kN);  
Fy            Forza in direzione y (kN);  
M            Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	306,13	171,73	304,07
Carichi esterni	115,0	0,0	1329,4
Peso muro	0,0	266,99	-396,21
Peso fondazione	0,0	198,88	-517,09
Sovraccarico	0,0	65,39	-217,41
Terr. fondazione	0,0	723,88	-2561,08
Spinte fondazione	-101,59	0,0	-55,68
	319,54	1426,86	-2114,0

Momento stabilizzante            -4584,77 kNm  
Momento ribaltante                2470,78 kN m

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale                    631,7 kN  
Forza verticale (P)                 4456,64 kN

Dati palo

Lunghezza                            3500,0    cm  
Diametro                              100,0     cm  
Copriferro                            3,0        cm  
Palo trivellato  
Numero verticali indagate 1  
Fattore correlazione verticali indagate [xi3] 1,7  
Fattore correlazione verticali indagate [xi4] 1,7

Stratigrafia palo

Strato N° 1

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Spessore strato	140,0	cm	
Peso unità di volume	19,5	KN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito		25,0	°
Coesione		30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa	
Modulo di reaz. orizzontale	68646,55	KN/m <sup>3</sup>	

Strato N° 2

Spessore strato	460,0	cm	
Peso unità di volume	10,19	KN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito		32,0	°
Coesione		0,0	kPa
Modulo di elasticità	25000,0	kPa	

Strato N° 3

Spessore strato	240,0	cm	
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito		25,0	°
Coesione		30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa	

Strato N° 4

Spessore strato	500,0	cm	
Peso unità di volume	10,19	KN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito		32,0	°
Coesione		0,0	kPa
Modulo di elasticità	25000,0	kPa	

Strato N° 5

Spessore strato	960,0	cm	
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito		25,0	°
Coesione		30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa	

Strato N° 6

Spessore strato	510,0	cm	
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito		25,0	°
Coesione		30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa	

Strato N° 7

Spessore strato	500,0	cm	
Peso unità di volume	10,19	KN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito		32,0	°
Coesione		20,0	kPa
Modulo di elasticità	50000,0	kPa	

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Strato N° 8

Spessore strato	190,0	cm
Peso unità di volume	16,19	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	40,0	°
Coesione	50,0	kPa
Modulo di elasticità	100000,0	kPa

Spostamenti e rotazioni in testa al palo di valle

Lunghezza d'onda	308,04	cm
Cedimento del palo	0,2	cm
Spostamento in x	2,99	cm
Rotazione in testa	0,36	°

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 713,97 kPa

Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	42246,71 kN
Carico limite laterale (Qs)	7366,84 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	29184,44 kN
Peso palo (W)	68722,34 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	5,69

Carico limite orizzontale

Carico limite orizzontale (H)	871.76 kN
Coefficiente di sicurezza a carichi trasversali (FsT)	1
Forza orizzontale (T)	631.7 kN
Fattore di sicurezza $Fs=(H/FsT) /T$	1.38

I calcoli per la valutazione del carico limite orizzontale è riportata nei tabulati di seguito. Per quanto riguarda i parametri del terreno, è stato impiegato, in favore di sicurezza, l'angolo d'attrito minore tra gli strati presenti.

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

**TEORIA DI BASE:**

(Broms, 1964)

H = carico limite orizzontale

L = lunghezza del palo

D = diametro del palo

My = momento di plasticizzazione della sezione

Fs = coefficiente di sicurezza

$\varphi'$  = angolo di attrito del terreno

$k_p$  = coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1 + \sin\varphi')/(1 - \sin\varphi')$ )

$\gamma$  = peso di unità di volume del terreno (se è presente la falda  $\gamma = \gamma'$ )

Palo corto: 
$$H = 1.5 k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

**DATI DI IMPUT:**

L =	35,00	(m)
D =	1,00	(m)
My =	1051,40	(kN m)
Fs =	1,00	(-)
$\varphi'$ =	25,00	(°)
$k_p$ =	2,46	(-)
$\gamma$ =	18,00	(kN/m <sup>3</sup> )

Palo corto:

**H1 =** 81493,92 (kN)

Palo intermedio:

**H2 =** 27194,68 (kN)

Palo lungo:

**H3 =** 871,76 (kN)

**H = min(H1, H2, H3) = 871,76 (kN) palo lungo**

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

A1+M1+R3 [GEO+STR]

## CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
1056,0	868,8	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	
868,8	681,6	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	
681,6	494,4	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	
494,4	307,2	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	
307,2	120,0	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	

## Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
28,3	0,28	0,0	0,0	0,25	0,13	0,0	0,0
28,3	0,28	0,0	0,0	0,25	0,13	0,0	0,0
28,3	0,28	0,0	0,0	0,25	0,13	0,0	0,0
28,3	0,28	0,0	0,0	0,25	0,13	0,0	0,0
28,3	0,28	0,0	0,0	0,25	0,13	0,0	0,0

## Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	1056,0	868,8	17,16	9,24	948,18	948,18
2	868,8	681,6	32,8	17,66	767,76	767,76
3	681,6	494,4	48,44	26,08	582,96	582,96
4	494,4	307,2	64,08	34,5	396,99	396,99
5	307,2	120,0	79,71	42,92	210,54	210,54

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
Px Forza inerziale (kN);  
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
868,8	0,0	32,16	127,2	957,2
681,6	0,0	74,93	132,2	851,1
494,4	0,0	128,35	137,5	740,3
307,2	0,0	192,35	142,9	626,5
120,0	0,0	266,99	148,4	510,4

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);  
Qf Quota finale strato  
G Peso unità di volume (KN/m<sup>3</sup>);  
Eps Inclinazione dello strato. (°);  
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);  
Delta Angolo attrito terra muro;  
c Coesione (kPa);  
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
1056,0	868,8	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
868,8	681,6	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
681,6	494,4	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
494,4	307,2	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
307,2	120,0	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	40,0	18,5	0,0	35,0	26,0	0,0	0,0	
40,0	0,0	19,5	0,0	25,0	25,0	30,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.  
Ka Coefficiente di spinta attiva.  
Kd Coefficiente di spinta dinamica.  
Dk Coefficiente di incremento dinamico.  
Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.  
Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
35,0	0,25	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
35,0	0,25	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
35,0	0,25	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
35,0	0,25	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
35,0	0,25	0,0	0,0	0,2	0,14	0,0	0,0
26,0	0,24	0,0	0,0	0,22	0,11	0,0	0,0
25,0	0,36	0,0	0,0	0,32	0,15	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

MANDATARIA



MANDANTE



**ICARIA**  
società di ingegneria

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Qi Quota inizio strato.  
Qf Quota inizio strato.  
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	1056,0	868,8	14,16	9,91	948,18	948,18
2	868,8	681,6	27,06	18,95	767,76	767,76
3	681,6	494,4	39,96	27,98	582,96	582,96
4	494,4	307,2	52,87	37,02	396,99	396,99
5	307,2	120,0	65,77	46,05	210,54	210,54
6	120,0	40,0	32,41	21,67	79,46	79,61
7	40,0	0,0	5,22	5,69	19,36	19,73

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);  
Qf Quota finale strato  
G Peso unità di volume (KN/m<sup>3</sup>);  
Eps Inclinazione dello strato. (°);  
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);  
Delta Angolo attrito terra muro;  
c Coesione (kPa);  
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
120,0	0,0	19,5	180,0	25,0	25,0	30,0	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.  
Kp Coefficiente di resistenza passiva.  
Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
205,0	2,46	-2,23	-1,04

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.  
Qf Quota inizio strato.  
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);  
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);  
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	120,0	0,0	-133,78	0,0	55,31	0,0

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Sollecitazioni total i

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	237,44	167,26	80,29
Carichi esterni	135,0	0,0	1560,6
Peso muro	0,0	266,99	-396,21
Peso fondazione	0,0	198,88	-517,09
Sovraccarico	0,0	75,45	-250,86
Terr. fondazione	0,0	723,88	-2561,08
Spinte fondazione	-133,78	0,0	-74,0
	238,66	1432,46	-2158,35

Momento stabilizzante -4595,0 kNm  
Momento ribaltante 2436,65 kN m

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale 558,66 kN  
Forza verticale (P) 4433,04 kN

Dati palo

Lunghezza 3500,0 cm  
Diametro 100,0 cm  
Copriferro 3,0 cm  
Palo trivellato  
Numero verticali indagate 1  
Fattore correlazione verticali indagate [xi3] 1,7  
Fattore correlazione verticali indagate [xi4] 1,7

Stratigrafia palo

Strato N° 1

Spessore strato 140,0 cm  
Peso unità di volume 19,5 KN/m<sup>3</sup>  
Angolo di attrito 25,0 °  
Coesione 30,0 kPa  
Modulo di elasticità 15000,0 kPa  
Modulo di reaz. orizzontale 68646,55 KN/m<sup>3</sup>

Strato N° 2

Spessore strato 460,0 cm  
Peso unità di volume 10,19 KN/m<sup>3</sup>  
Angolo di attrito 32,0 °  
Coesione 0,0 kPa  
Modulo di elasticità 25000,0 kPa

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Strato N° 3

Spessore strato	240,0	cm
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	25,0	°
Coesione	30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa

Strato N° 4

Spessore strato	500,0	cm
Peso unità di volume	10,19	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32,0	°
Coesione	0,0	kPa
Modulo di elasticità	25000,0	kPa

Strato N° 5

Spessore strato	960,0	cm
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	25,0	°
Coesione	30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa

Strato N° 6

Spessore strato	510,0	cm
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	25,0	°
Coesione	30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa

Strato N° 7

Spessore strato	500,0	cm
Peso unità di volume	10,19	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32,0	°
Coesione	20,0	kPa
Modulo di elasticità	50000,0	kPa

Strato N° 8

Spessore strato	190,0	cm
Peso unità di volume	16,19	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	40,0	°
Coesione	50,0	kPa
Modulo di elasticità	100000,0	kPa

Spostamenti e rotazioni in testa al palo di valle

Lunghezza d'onda	308,04	cm
Cedimento del palo	0,2	cm
Spostamento in x	2,64	cm
Rotazione in testa	0,32	°

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 713,97 kPa

Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	42246,71 kN
Carico limite laterale (Qs)	7366,84 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	22176,36 kN
Peso palo (W)	68722,34 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	4,34

Carico limite orizzontale

Carico limite orizzontale (H)	871.76 kN
Coefficiente di sicurezza a carichi trasversali (FsT)	1.3
Forza orizzontale (T)	558.66 kN
Fattore di sicurezza $Fs=(H/FsT) /T$	1.20

I calcoli per la valutazione del carico limite orizzontale è riportata nei tabulati di seguito. Per quanto riguarda i parametri del terreno, è stato impiegato, in favore di sicurezza, l'angolo d'attrito minore tra gli strati presenti.

**TEORIA DI BASE:**

(Broms, 1964)

H = carico limite orizzontale

L = lunghezza del palo

D = diametro del palo

My = momento di plasticizzazione della sezione

Fs = coefficiente di sicurezza

$\phi'$  = angolo di attrito del terreno

kp = coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1+\sin\phi')/(1-\sin\phi')$ )

$\gamma$  = peso di unità di volume del terreno (se è presente la falda  $\gamma = \gamma'$ )

Palo corto: 
$$H = 1.5k_p\gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2}k_p\gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p\gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p\gamma d^4}}$$

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

**DATI DI IMPUT:**

L =	35,00	(m)
D =	1,00	(m)
My =	1051,40	(kN m)
Fs =	1,30	(-)
$\varphi'$ =	25,00	(°)
kp =	2,46	(-)
$\gamma$ =	18,00	(kN/m <sup>3</sup> )

Palo corto:

<b>H1 =</b>	81493,92	(kN)	<b>H1/FS =</b>	62687,63	(kN)
-------------	----------	------	----------------	----------	------

Palo intermedio:

<b>H2 =</b>	27194,68	(kN)	<b>H2/FS =</b>	20918,98	(kN)
-------------	----------	------	----------------	----------	------

Palo lungo:

<b>H3 =</b>	871,76	(kN)	<b>H3/FS =</b>	670,58	(kN)
-------------	--------	------	----------------	--------	------

**H = min(H1, H2, H3) = 670.58 kN    palo lungo**

SISMA (A1+M1+R3) [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0,0314
Coefficiente sismico verticale Kv	0,0157

## CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
$\beta$	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$	Note
1056,0	868,8	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	
868,8	681,6	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	
681,6	494,4	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0	

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

494,4	307,2	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0
307,2	120,0	18,0	0,0	35,0	23,3	0,0	5,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

$\mu$	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
28,3	0,28	0,31	0,04	0,25	0,13	0,03	0,02
28,3	0,28	0,31	0,04	0,25	0,13	0,03	0,02
28,3	0,28	0,31	0,04	0,25	0,13	0,03	0,02
28,3	0,28	0,31	0,04	0,25	0,13	0,03	0,02
28,3	0,28	0,31	0,04	0,25	0,13	0,03	0,02

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	1056,0	868,8	24,13	12,99	953,62	953,62
2	868,8	681,6	37,71	20,3	769,58	769,58
3	681,6	494,4	51,29	27,62	583,87	583,87
4	494,4	307,2	64,87	34,93	397,53	397,53
5	307,2	120,0	78,45	42,24	210,9	210,9

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py	Peso del muro (kN);
Px	Forza inerziale (kN);
Xp, Yp	Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
868,8	1,17	24,74	127,2	957,2
681,6	2,71	57,64	132,2	851,1
494,4	4,65	98,73	137,5	740,3
307,2	6,97	147,96	142,9	626,5
120,0	9,67	205,38	148,4	510,4

Sollecitazioni sul muro

Quota	Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

H	Altezza sezione di calcolo (cm);			
Quota	Fx	Fy	M	H
868,8	125,29	37,73	306,71	62,8
681,6	164,55	90,93	572,98	80,6
494,4	217,78	159,64	924,3	98,4
307,2	284,96	243,8	1386,33	116,2
120,0	366,12	343,46	1984,61	134,0

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
1056,0	868,8	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
868,8	681,6	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
681,6	494,4	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
494,4	307,2	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
307,2	120,0	18,0	0,0	35,0	35,0	0,0	0,0	
120,0	40,0	18,5	0,0	35,0	26,0	0,0	0,0	
40,0	0,0	19,5	0,0	25,0	25,0	30,0	0,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
35,0	0,25	0,28	0,04	0,2	0,14	0,03	0,02
35,0	0,25	0,28	0,04	0,2	0,14	0,03	0,02
35,0	0,25	0,28	0,04	0,2	0,14	0,03	0,02
35,0	0,25	0,28	0,04	0,2	0,14	0,03	0,02
35,0	0,25	0,28	0,04	0,2	0,14	0,03	0,02
26,0	0,24	0,27	0,03	0,22	0,11	0,03	0,02
25,0	0,36	0,39	0,05	0,32	0,15	0,04	0,02

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

	Z(Rpx) Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm); Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);				
	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	1056,0	868,8	22,61	15,5	954,84	954,68
2	868,8	681,6	33,57	23,17	770,11	770,04
3	681,6	494,4	44,52	30,85	584,16	584,12
4	494,4	307,2	55,48	38,52	397,72	397,69
5	307,2	120,0	66,43	46,19	211,03	211,01
6	120,0	40,0	32,02	21,47	79,54	79,66
7	40,0	0,0	4,64	5,42	19,37	19,75

SPINTE IN FONDAZIONE  
Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
120,0	0,0	19,5	180,0	25,0	25,0	30,0	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
205,0	2,46	-2,23	-1,04

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	120,0	0,0	-133,78	0,0	55,31	0,0

Sollecitazioni total i

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

M	Momento (kNm);		M
	Fx	Fy	
Spinta terreno	259,27	181,12	179,85
Carichi esterni	100,0	0,0	1156,0
Peso muro	9,67	205,38	-255,41
Peso fondazione	7,21	152,98	-393,43
Sovraccarico	2,37	50,3	-142,22
Terr. fondazione	26,23	556,83	-1810,34
Spinte fondazione	-133,78	0,0	-74,0
	270,96	1146,6	-1339,56

Momento stabilizzante -3781,64 kNm  
Momento ribaltante 2442,09 kN m

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale 607,11 kN  
Forza verticale (P) 4009,36 kN

Dati palo

Lunghezza 3500,0 cm  
Diametro 100,0 cm  
Copriferro 3,0 cm  
Palo trivellato  
Numero verticali indagate 1  
Fattore correlazione verticali indagate [xi3] 1,7  
Fattore correlazione verticali indagate [xi4] 1,7

Stratigrafia palo

Strato N° 1

Spessore strato 140,0 cm  
Peso unità di volume 19,5 KN/m<sup>3</sup>  
Angolo di attrito 25,0 °  
Coesione 30,0 kPa  
Modulo di elasticità 15000,0 kPa  
Modulo di reaz. orizzontale 68646,55 KN/m<sup>3</sup>

Strato N° 2

Spessore strato 460,0 cm  
Peso unità di volume 10,19 KN/m<sup>3</sup>  
Angolo di attrito 32,0 °  
Coesione 0,0 kPa  
Modulo di elasticità 25000,0 kPa

Strato N° 3

Spessore strato 240,0 cm  
Peso unità di volume 9,69 KN/m<sup>3</sup>

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Angolo di attrito	25,0	°
Coesione	30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa

Strato N° 4

Spessore strato	500,0	cm
Peso unità di volume	10,19	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32,0	°
Coesione	0,0	kPa
Modulo di elasticità	25000,0	kPa

Strato N° 5

Spessore strato	960,0	cm
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	25,0	°
Coesione	30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa

Strato N° 6

Spessore strato	510,0	cm
Peso unità di volume	9,69	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	25,0	°
Coesione	30,0	kPa
Modulo di elasticità	15000,0	kPa

Strato N° 7

Spessore strato	500,0	cm
Peso unità di volume	10,19	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32,0	°
Coesione	20,0	kPa
Modulo di elasticità	50000,0	kPa

Strato N° 8

Spessore strato	190,0	cm
Peso unità di volume	16,19	KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	40,0	°
Coesione	50,0	kPa
Modulo di elasticità	100000,0	kPa

Spostamenti e rotazioni in testa al palo di valle

Lunghezza d'onda	308,04	cm
Cedimento del palo	0,18	cm
Spostamento in x	2,87	cm
Rotazione in testa	0,35	°

Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 713,97 kPa

Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)

42246,71 kN

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Carico limite laterale (Qs)	7366,84 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	22176,36 kN
Peso palo (W)	68722,34 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	4,74

Carico limite orizzontale

Carico limite orizzontale (H)	871.76 kN
Coefficiente di sicurezza a carichi trasversali (FsT)	1.3
Forza orizzontale (T)	607.11 kN
Fattore di sicurezza $Fs=(H/FsT) /T$	1.10

I calcoli per la valutazione del carico limite orizzontale è riportata nei tabulati di seguito. Per quanto riguarda i parametri del terreno, è stato impiegato, in favore di sicurezza, l'angolo d'attrito minore tra gli strati presenti.

**TEORIA DI BASE:**

(Broms, 1964)

H = carico limite orizzontale

L = lunghezza del palo

D = diametro del palo

My = momento di plasticizzazione della sezione

Fs = coefficiente di sicurezza

$\phi'$  = angolo di attrito del terreno

kp = coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1+\sin\phi')/(1-\sin\phi')$ )

$\gamma$  = peso di unità di volume del terreno (se è presente la falda  $\gamma = \gamma'$ )

Palo corto: 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}}$$

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO**DATI DI IMPUT:**

L =	35,00	(m)
D =	1,00	(m)
My =	1051,40	(kN m)
Fs =	1,30	(-)
$\varphi'$ =	25,00	(°)
kp =	2,46	(-)
$\gamma$ =	18,00	(kN/m <sup>3</sup> )

**Palo corto:**

H1 =	81493,92	(kN)	H1/FS =	62687,63	(kN)
------	----------	------	---------	----------	------

**Palo intermedio:**

H2 =	27194,68	(kN)	H2/FS =	20918,98	(kN)
------	----------	------	---------	----------	------

**Palo lungo:**

H3 =	871,76	(kN)	H3/FS =	670,58	(kN)
------	--------	------	---------	--------	------

**H = min(H1, H2, H3) = 670.58 kN    palo lungo**

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

## 9. VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DELL'OPERA SUL PENDIO (GEO)

Si riportano di seguito i risultati e le ipotesi di calcolo per la verifica di stabilità globale dell'opera sul pendio eseguita mediante il software SLOPE di Geostru, con il metodo di Jambu, descritto nei paragrafi precedenti.

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Normativa	NTC 2018 e Circ.
Numero di strati	10,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3,51 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	16,73 m
Ascissa vertice destro superiore xs	8,49 m
Ordinata vertice destro superiore ys	21,72 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0046
Coefficiente azione sismica verticale	0,0023

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	6,2
2	5,0	6,2
3	6,0	6,2
4	6,45	15,56
5	6,45	15,56
6	15,45	15,56
7	17,45	15,56
8	31,49	15,56

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	10,0	0,0
3	20,0	0,0
4	20,0	0,0
5	30,0	0,0
6	31,49	0,0

Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

1	0,0	6,2
2	6,45	6,2
3	31,49	6,2

Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	5,4
2	6,45	5,4
3	31,49	5,4

Vertici strato .....3

N	X (m)	y (m)
1	0,0	3,6
2	6,45	3,6
3	31,49	3,6

Vertici strato .....4

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-1,0
2	6,45	-1,0
3	31,49	-1,0

Vertici strato .....5

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-3,4
2	6,45	-3,4
3	31,49	-3,4

Vertici strato .....6

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-8,4
2	6,45	-8,4
3	31,49	-8,4

Vertici strato .....7

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-18,0
2	6,45	-18,0
3	31,49	-18,0

Vertici strato .....8

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-23,1
2	6,45	-23,1
3	31,49	-23,1

Vertici strato .....9

N	X (m)	y (m)
1	0,0	-28,1
2	6,45	-28,1
3	31,49	-28,1

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio

1,25

Coesione efficace

1,25

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Coesione non drenata

1,4

Riduzione parametri geotecnici terreno

Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0		35	1835,489	1835,489	RILEVATO	
2	0		35	1835,489	1835,489	UG0	
3	0,765		25	1988,447	1988,447	UG2	
4	0		32	2039,432	2039,432	UG3	
5	0,765		25	1988,447	1988,447	UG2	
6	0		32	2039,432	2039,432	UG3	
7	0,765		25	1988,447	1988,447	UG2	
8	0,765		25	1988,447	1988,447	UG2	
9	0,255		30	2039,432	2039,432	UG4b	
10	0,51		38	2651,262	2651,262	UG4a	

Pali...

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kg/cm <sup>2</sup> )	Momento plasticizzazione (kN*m)	Metodo stabilizzazione
1	5,5	5	1	35	90	3	20	--	Tensione tangenziale
2	8,7	5	1	35	90	3	20	--	Tensione tangenziale

Carichi concentrati

N°	x (m)	y (m)	Fx (Kg)	Fy (Kg)	M (Kg m)
1	6,45	15,56	10000	0	-10000

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	6,45	15,56	15,45	15,56	0,2

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato

8,24

Ascissa centro superficie

6,5 m

Ordinata centro superficie

16,73 m

Raggio superficie

12,31 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 6,499 \quad yc = 16,73 \quad Rc = 12,308 \quad Fs = 8,243$$

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
-----	-------	----------	--------	---------	------------	------------	-------------------------	--------	---------	----------	---------

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

1	1,86	-26,3	2,08	1742,95	8,02	4,01	0,0	29,3	0,0	2026,6	184,4
2	1,86	-17,0	1,95	4386,11	20,18	10,09	0,61	20,5	0,0	5200,3	2108,6
3	2,6	-6,3	2,61	8482,87	39,02	19,51	0,61	20,5	0,0	8846,0	2826,5
4	1,13	2,4	1,13	25425,59	116,96	58,48	0,61	20,5	0,0	25348,1	2383,1
5	1,86	9,4	1,89	41462,56	190,73	95,36	0,61	20,5	0,0	41377,6	3982,6
6	1,86	18,4	1,96	39760,45	182,9	91,45	0,61	20,5	0,0	40586,9	4165,4
7	1,86	27,9	2,11	36951,24	169,98	84,99	0,0	29,3	0,0	40073,9	3696,9
8	1,86	38,3	2,37	32826,88	151,0	75,5	0,0	29,3	0,0	39308,5	4085,7
9	1,86	50,7	2,94	23767,89	109,33	54,67	0,0	29,3	0,0	34137,0	4396,7
10	1,86	71,1	5,74	12507,13	57,53	28,77	0,0	29,3	0,0	31139,0	7824,5

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

## 10. VERIFICHE DI RESISTENZA (STR)

Le verifiche di resistenza delle strutture del muro e dei pali di fondazione, sono eseguite in accordo alle NTC 2018, e sono riportate nei tabulati dei paragrafi successivi.

Come già accennato, l'analisi del muro di sostegno su pali è stata condotta mediante il software MDC di Geostru, con cui sono stati eseguiti anche i calcoli di verifica strutturale del paramento e dei pali di fondazione.

### 10.1 VERIFICHE SLU

Si riportano di seguito le verifiche strutturali del muro, della relativa suola e dei pali di fondazione, per ciascuna delle combinazioni di carico analizzate. Le verifiche sono stete eseguite considerando un tratto di muro di lunghezza unitaria, pertanto le armature esplicitate nei tabulati di calcolo sono riferite alla lunghezza di 1.00 m.

#### A2+M2+R2 [GEO+STR]

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py            Peso del muro (kN);  
Px            Forza inerziale (kN);  
Xp, Yp       Coordinate baricentro dei pesi (cm);

QuotaPx	Py	Xp	Yp
868,80,0	32,16	127,2	957,2
681,60,0	74,93	132,2	851,1
494,40,0	128,35	137,5	740,3
307,20,0	192,35	142,9	626,5
120,00,0	266,99	148,4	510,4

Sollecitazioni sul muro

Quota       Origine ordinata minima del muro (cm).  
Fx            Forza in direzione x (kN);  
Fy            Forza in direzione y (kN);  
M            Momento (kNm);  
H            Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
868,8	134,39	42,6	344,3	62,8
681,6	172,83	106,07	626,96	80,6
494,4	230,33	190,45	997,67	98,4
307,2	306,89	295,67	1491,32	116,2
120,0	402,51	421,79	2142,7	134,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Afv	Area dei ferri lato valle.
Afm	Area dei ferri lato monte.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	43,5	1090,76	S	348,19	0,0	2,54	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	108,42	1468,36	S	405,44	0,0	2,3	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	194,05	1864,39	S	461,63	0,0	1,97	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	301,32	2283,65	S	517,9	0,0	1,65	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	430,38	2730,79	S	574,95	0,0	1,4	

FONDAZIONE

Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

Fx	Fy	M	
Spinta terreno	306,13	171,73	304,07
Carichi esterni	115,0	0,0	1329,4
Peso muro	0,0	266,99	-396,21
Peso fondazione	0,0	198,88	-517,09
Sovraccarico	0,0	65,39	-217,41
Terr. fondazione	0,0	723,88	-2561,08
Spinte fondazione	-101,59	0,0	-55,68
319,54	1426,86	-2114,0	

Momento stabilizzante	-4584,77 kNm
Momento ribaltante	2470,78 kN m

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale	631,7 kN
Forza verticale (P)	4456,64 kN

Dati palo

Lunghezza	3500,0 cm
Diametro	100,0 cm
Copriferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Verifica palo in testa

Momento	0,0 kNm
Sforzo normale	4456,64 kN
Taglio	631,7 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4456,65 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1507,47 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1726,07 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	601,06 kN
Misura Sicurezza Taglio	1,05

Verifica palo alla profondità di cm 246,43

Momento	1498,32 kNm
Sforzo normale	4504,1 kN
Taglio	-189,51 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4504,1 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1506,06 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1721,77 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	599,78 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,32

Verifiche palo alla profondità di cm 616,07

Momento	1225,9 kNm
Sforzo normale	4575,26 kN
Taglio	0,0 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4575,26 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1503,85 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1721,77 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	599,78 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,32

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
100,0	-101,59	38,25	24,4	120,0

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi Area dei ferri inferiori.  
Afs Area dei ferri superiori.  
Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);  
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)		103,68	1195,04	S	398,22	0,0	10,21

MENSOLA A MONTE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);  
Fx Forza in direzione x (kN);  
Fy Forza in direzione y (kN);  
M Momento (kNm);  
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
234,0	-199,02	871,53	-1395,41	120,0
420,0	11,54	395,89	-288,47	120,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi Area dei ferri inferiori.  
Afs Area dei ferri superiori.  
Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);  
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
0Ø0 (0,0)		0Ø0 (0,0)	202,77	114,17	N	402,94	0,0	13,43
5Ø26 (26,55)		6Ø26 (31,86)	11,95	1370,42	S	409,04	0,0	1,01

A1+M1+R3 [GEO+STR]

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
Px Forza inerziale (kN);  
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

QuotaPx	Py	Xp	Yp

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

868,80,0	32,16	127,2	957,2
681,60,0	74,93	132,2	851,1
494,40,0	128,35	137,5	740,3
307,20,0	192,35	142,9	626,5
120,00,0	266,99	148,4	510,4

Sollecitazioni sul muro

Quota	Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
868,8	152,16	41,4	400,48	62,8
681,6	184,95	101,83	712,63	80,6
494,4	233,39	181,33	1100,07	98,4
307,2	297,47	279,82	1591,62	116,2
120,0	377,18	397,39	2216,01	134,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv	Area dei ferri lato valle.
Afm	Area dei ferri lato monte.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	42,18	1090,47	S	348,02	0,0	2,24	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	103,56	1466,96	S	404,83	0,0	2,15	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	184,98	1861,14	S	460,3	0,0	1,93	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	285,49	2276,84	S	515,58	0,0	1,7	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)	405,15	2718,17	S	571,35	0,0	1,49	

FONDAZIONE

Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

Fx	Fy	M	
Spinta terreno	237,44	167,26	80,29
Carichi esterni	135,0	0,0	1560,6
Peso muro	0,0	266,99	-396,21
Peso fondazione	0,0	198,88	-517,09

MANDATARIA

MANDANTE

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Sovraccarico	0,0	75,45	-250,86
Terr. fondazione	0,0	723,88	-2561,08
Spinte fondazione	-133,78	0,0	-74,0
238,66	1432,46	-2158,35	

Momento stabilizzante	-4595,0 kNm
Momento ribaltante	2436,65 kN m

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale	558,66 kN
Forza verticale (P)	4433,04 kN

Dati palo

Lunghezza	3500,0 cm
Diametro	100,0 cm
Copriferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

Verifica palo in testa

Momento	0,0 kNm
Sforzo normale	4433,04 kN
Taglio	558,66 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4433,04 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1508,15 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1728,22 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	601,7 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,93

Verifica palo alla profondità di cm 246,43

Momento	1325,08 kNm
Sforzo normale	4480,49 kN
Taglio	-167,6 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4480,5 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1506,77 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1723,91 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	600,41 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,28

Verifiche palo alla profondità di cm 616,07

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Momento	1084,16 kNm
Sforzo normale	4551,66 kN
Taglio	0,0 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4551,66 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1504,6 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio cong. (Vcd)	1723,91 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	600,41 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,28

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
100,0	-133,78	38,25	25,39	120,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	min{Vrd; Vwd}/Vsdu
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)		136,43	1211,16	S	402,94	0,0	10,33

MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
234,0	-181,0	861,27	-1380,64	120,0
420,0	5,22	394,11	-282,8	120,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);  
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
0Ø0 (0,0)		0Ø0 (0,0)	184,55	104,21	N	409,04	0,0	1,01
5Ø26 (26,55)		6Ø26 (31,86)	5,25	1367,15	S	408,11	0,0	1,02

SISMA (A1+M1+R3) [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0,0314  
Coefficiente sismico verticale Kv 0,0157

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);  
Px Forza inerziale (kN);  
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

QuotaPx	Py	Xp	Yp
868,81,17	24,74	127,2	957,2
681,62,71	57,64	132,2	851,1
494,44,65	98,73	137,5	740,3
307,26,97	147,96	142,9	626,5
120,09,67	205,38	148,4	510,4

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).  
Fx Forza in direzione x (kN);  
Fy Forza in direzione y (kN);  
M Momento (kNm);  
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
868,8	125,29	37,73	306,71	62,8
681,6	164,55	90,93	572,98	80,6
494,4	217,78	159,64	924,3	98,4
307,2	284,96	243,8	1386,33	116,2
120,0	366,12	343,46	1984,61	134,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv Area dei ferri lato valle.  
Afm Area dei ferri lato monte.  
Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsd$   
Vsd Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)		38,24	1089,62	S	347,5	0,0	2,72
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)		92,65	1463,83	S	403,26	0,0	2,4
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)		162,57	1853,1	S	457,16	0,0	2,06
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)		248,35	2260,88	S	510,3	0,0	1,76
5Ø26 (26,55)	10Ø26 (53,09)		349,94	2690,49	S	563,41	0,0	1,51

FONDAZIONE

Sollecitazioni totali

Fx Forza in direzione x (kN);  
Fy Forza in direzione y (kN);  
M Momento (kNm);

Fx	Fy	M	
	259,27	181,12	179,85
Spinta terreno			
Carichi esterni	100,0	0,0	1156,0
Peso muro	9,67	205,38	-255,41
Peso fondazione	7,21	152,98	-393,43
Sovraccarico	2,37	50,3	-142,22
Terr. fondazione	26,23	556,83	-1810,34
Spinte fondazione	-133,78	0,0	-74,0
270,96	1146,6	-1339,56	

Momento stabilizzante -3781,64 kNm  
Momento ribaltante 2442,09 kN m

Verifica palo max sollecitato

Forza orizzontale 607,11 kN  
Forza verticale (P) 4009,36 kN

Dati palo

Lunghezza 3500,0 cm  
Diametro 100,0 cm  
Copriferro 3,0 cm  
Palo trivellato  
Numero verticali indagate 1  
Fattore correlazione verticali indagate [xi3] 1,7  
Fattore correlazione verticali indagate [xi4] 1,7

Verifica palo in testa

Momento 0,0 kNm  
Sforzo normale 4009,36 kN  
Taglio 607,11 kN

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4009,36 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1518,47 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1767,39 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	612,54 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,99

Verifica palo alla profondità di cm 246,43

Momento	1440,01 kNm
Sforzo normale	4056,81 kN
Taglio	-182,13 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4056,82 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1517,48 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1763,14 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	611,32 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,3

Verifiche palo alla profondità di cm 616,07

Momento	1178,19 kNm
Sforzo normale	4127,98 kN
Taglio	0,0 kN
Area ferri	69,12 cm <sup>2</sup>
Sforzo normale ultimo (Nu)	4127,97 kN
Momento flettente ultimo (Mu)	1515,93 kNm
Stato verifica a flessione	Verificata
Resistenza a taglio congl. (Vcd)	1763,14 kN
Resistenza a taglio staffe (Vwd)	611,32 kN
Misura Sicurezza Taglio	0,3

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
100,0	-133,78	29,42	20,98	120,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
5Ø26 (26,55)	5Ø26 (26,55)		136,43	1211,16	S	402,94	0,0	13,43

MENSOLA A MONTE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);  
Fx Forza in direzione x (kN);  
Fy Forza in direzione y (kN);  
M Momento (kNm);  
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
234,0	-197,73	975,33	-1615,82	120,0
420,0	4,64	392,43	-288,66	120,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi Area dei ferri inferiori.  
Afs Area dei ferri superiori.  
Nu Sforzo normale ultimo (kN);  
Mu Momento flettente ultimo (kNm);  
Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);  
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);  
Sic. VT  $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$   
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT	
0Ø0 (0,0)		0Ø0 (0,0)	201,89	113,68	N	408,11	0,0	1,02
5Ø26 (26,55)		6Ø26 (31,86)	4,77	1366,92	S	408,03	0,0	1,02

## 10.2 VERIFICHE SLE

Si riportano di seguito i tabulati delle verifiche allo stato limite di esercizio del muro e della relativa suola di fondazione, per ciascuna delle combinazioni di carico analizzate.

### SLE RARA [Rara]

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm <sup>2</sup>	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	Elevazione	
								SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>	
Si	0,000	--	177,380	620	Si	1,33	195,78	6,14	
Si	0,005	--	229,863	1250	Si	5,22	195,78	75,19	
Si	0,015	--	229,863	1250	Si	11,33	195,78	228,87	
Si	0,032	--	229,863	1250	Si	19,29	195,78	471,86	
Si	0,054	--	229,863	1250	Si	28,83	195,78	805,72	

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Fondazione valle								
Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	--	--	--	Si	22,46	195,78	-183,68

Fondazione monte								
Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
No	--	--	--	--	Si	--	195,78	--
Si	0,086	--	333,926	1250	Si	15,58	195,78	880,35

SLE FREQ [Rara]

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	0,000	--	177,380	620	Si	1,33	195,78	6,14
Si	0,005	--	229,863	1250	Si	5,22	195,78	75,19
Si	0,015	--	229,863	1250	Si	11,33	195,78	228,87
Si	0,032	--	229,863	1250	Si	19,29	195,78	471,86
Si	0,054	--	229,863	1250	Si	28,83	195,78	805,72

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	--	--	--	Si	22,46	195,78	-183,68

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
No	--	--	--	--	Si	--	195,78	--
Si	0,065	--	299,238	1250	Si	14,57	195,78	737,86

SLE QP [Quasi perm.]

Elevazione

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	0,300	--	--	Si	6,57	146,84	-10,18
Si	0,004	0,300	229,863	1250	Si	4,34	146,84	54,22
Si	0,013	0,300	229,863	1250	Si	9,92	146,84	188,32
Si	0,028	0,300	229,863	1250	Si	17,39	146,84	410,09
Si	0,049	0,300	229,863	1250	Si	26,47	146,84	721,79

RAMO 4 – MURO DI SOSTEGNO IN C.A.  
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

Fondazione valle

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
Si	--	0,300	--	--	Si	22,46	146,84	-183,68

Fondazione monte

Verifica fessurazione	Apertura fessure mm	Apertura fessure Limite mm	Distanza fessure mm	Area Cls efficace cm2	Verifica tensioni Normali daN/cm <sup>2</sup>	Sigma C(+compr.) daN/cm <sup>2</sup>	SigmaC Lim daN/cm <sup>2</sup>	SigmaF Max daN/cm <sup>2</sup>
No	--	0,300	--	--	Si	--	146,84	--
Si	0,062	0,300	299,238	1250	Si	13,92	146,84	706,16