

A90 Svincolo Tiburtina:  
Intervento di potenziamento dallo svincolo  
"Centrale del Latte" allo svincolo A24  
2<sup>a</sup> fase funzionale

**PROGETTO DEFINITIVO**

**COD. RM105**

PROGETTAZIONE: R.T.I.: PROGIN S.p.A. (capogruppo mandataria)  
CREW Cremonesi Workshop S.r.l - TECNOSISTEM S.p.A  
ART Risorse Ambiente Territorio S.r.l - ECOPLAME S.r.l.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



Direttore Tecnico:

Dott. Ing. Lorenzo INFANTE

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giovanni CARRA (ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l.)

MANDANTI:



Direttore Tecnico:

Dott. Arch. Claudio TURRINI



Direttore Tecnico:

Dott. Ing. Andrea AVETA

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI



Direttore Tecnico:

Dott. Ing. Ivo FRESIA



Direttore Tecnico:

Dott. Arch. Pasquale PISANO

PROTOCOLLO

DATA

\_\_\_\_\_ 201\_

PROGETTO OPERE D'ARTE MINORI – OPERE DI SOSTEGNO CARR. INT.

Relazione tecnica e di calcolo MURO DI SOSTEGNO COMPL. INT (TRATTO 1) DA pk 0+200 a pk 0+297

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

D P R M 1 0 5 D 2 0

T00 OS02 STR RE01 A

CODICE

T 0 0 O S 0 2 S T R R E 0 1

A

FI AR.

-

A

Prima emissione in bozza

06/2021

V.Ricciardi

P. Valente

L. Infante

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>1</b>
1.1	Descrizione dell’opera .....	1
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI</b> .....	<b>3</b>
3.1	Calcestruzzo per Muri .....	3
3.2	Calcestruzzo per Pali .....	4
3.3	Acciaio per calcestruzzo armato .....	4
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA</b> .....	<b>5</b>
4.1	Terreno di riempimento e rinterro .....	6
4.2	Terreno di fondazione .....	6
4.3	Vita nominale e classe d’uso .....	7
4.4	Parametri di pericolosità sismica .....	7
<b>5</b>	<b>CRITERI GENERALI DI VERIFICA DELLE OPERE</b> .....	<b>8</b>
5.1	Metodo agli stati limite ed approcci di progetto .....	8
5.2	Criteri di analisi e verifica dei muri di sostegno .....	10
5.3	Prescrizioni generali per le verifiche in fase sismica .....	12
5.4	Prescrizioni generali per le verifiche dovute a carichi eccezionali .....	13
<b>6</b>	<b>CRITERI DI ANALISI E VERIFICHE DELLE OPERE</b> .....	<b>14</b>
6.1	Verifiche geotecniche .....	14
6.1.1	Verifica allo scorrimento .....	14
6.1.2	Verifica a ribaltamento .....	15
6.1.3	Verifica di stabilità globale .....	15
6.1.4	Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi verticali .....	16
6.1.5	Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi orizzontali .....	17
6.1.5.1	Unità a comportamento coesivo .....	17

8.1.5.1	Unità a comportamento incoerente .....	19
6.1.6	Verifica a carico limite per fondazioni superficiali .....	20
6.2	<b>Verifiche Strutturali- SLU .....</b>	<b>22</b>
6.2.1	Pressoflessione .....	22
6.2.2	Taglio.....	22
6.2.3	Verifiche strutturali- SLE .....	24
6.2.4	Stato limite di limitazione delle tensioni .....	24
6.2.5	Stato limite di fessurazione.....	25
<b>7</b>	<b><i>ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI.....</i></b>	<b><i>25</i></b>
7.1	Pesi propri e carichi permanenti .....	26
7.2	Carichi permanenti non strutturali .....	26
7.3	Carichi variabili da traffico.....	26
7.4	Azione eccezionale dovuta all’urto dell’autoveicolo in fase di svio .....	26
7.5	Spinte del terreno in fase statica .....	28
7.6	Spinta del terreno in presenza di falda.....	30
7.7	Coefficienti sismici.....	30
7.8	Spinte del terreno in fase sismica.....	31
7.9	Combinazioni di carico .....	31
<b>8</b>	<b><i>CODICI DI CALCOLO.....</i></b>	<b><i>36</i></b>
8.1	Affidabilità dei codici di calcolo.....	36
8.2	Informazioni generali sull'elaborazione .....	36
8.3	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati .....	36
<b>9</b>	<b><i>ANALISI E VERIFICHE DEL MURO DI SOSTEGNO.....</i></b>	<b><i>37</i></b>
9.1	<b>MURO TIPOLOGICO 02 (H=3m-fondazione diretta).....</b>	<b>37</b>
9.1.1	Risultati e Sollecitazioni .....	38
9.1.2	Armatura paramento e piastra di fondazione .....	40
9.1.3	Verifiche allo SLU.....	40
9.1.4	Verifiche allo SLE.....	41

9.1.5	Verifiche locali della mensola per azioni d'urto.....	41
9.2	MURO TIPOLOGICO 03 su 2 pali ( $H_{\text{paramento}}=4\text{m}$ ).....	44
9.2.1	Sollecitazioni Paramento.....	46
9.2.2	Verifiche strutturali paramento e piastra fondazione .....	46
9.2.3	Sollecitazioni in testa ai pali.....	48
9.2.4	Verifiche strutturali pali .....	50
9.2.4.1	Verifiche SLU-Pressoflessione .....	50
9.2.4.2	Taglio .....	50
9.2.4.3	Verifiche SLE.....	50
9.2.5	Verifiche geotecniche pali.....	51
9.2.5.1	Verifica di capacità portante nei confronti dei carichi verticali .....	51
9.2.5.2	Verifica di capacità portante nei confronti dei carichi orizzontali .....	52
<b>10</b>	<b>T ABULATI DI CALCOLO .....</b>	<b>54</b>
10.1	MURO TIPOLOGICO 02 ( $H=3\text{m}$ -fondazione diretta).....	54
10.1.1	Combinazione statica e sismica .....	54
10.1.2	Combinazione eccezionale d'urto .....	72
10.2	MURO TIPOLOGICO 03 su 2 pali ( $H_{\text{paramento}}=4\text{m}$ ).....	90
10.2.1	Combinazione statica .....	90
10.2.2	Combinazione sismica.....	106

## 1 PREMESSA

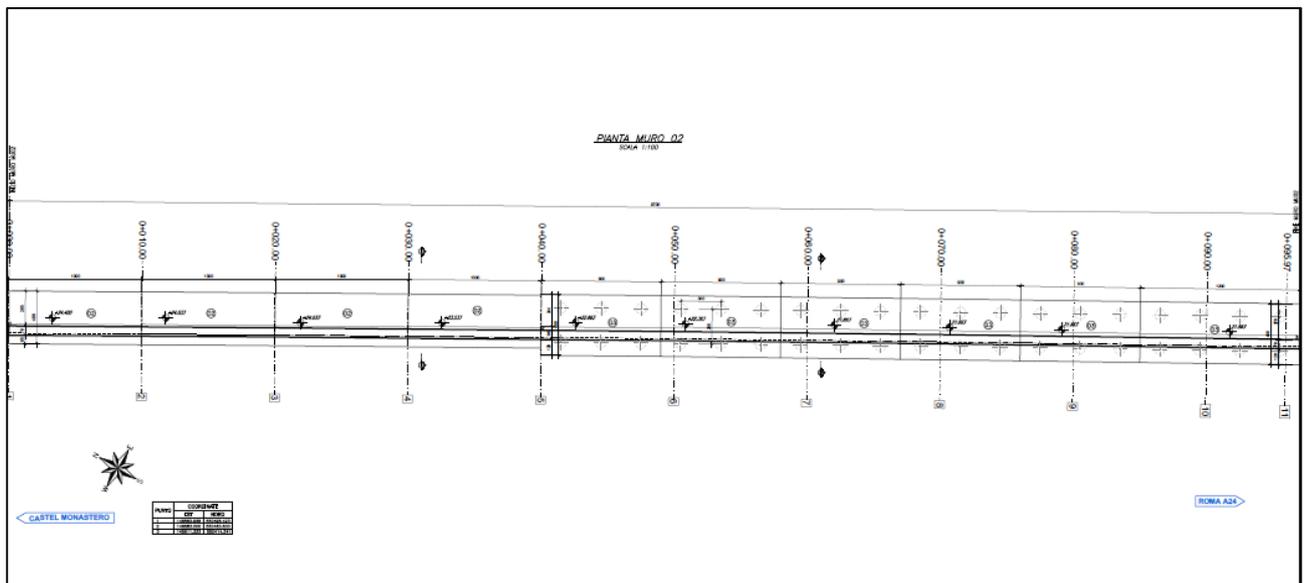
Il presente documento viene emesso nell’ambito della redazione degli elaborati tecnici del “**Progetto definitivo 2° stralcio funzionale A90 – SVINCOLO TIBURTINA- Intervento di potenziamento dallo svincolo CENTRALE DEL LATTE allo svincolo A24**”. L’opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra nel progetto delle “**Opere d’arte minori- Opere di sostegno carreggiata interna**”. In particolare, nel presente documento è affrontato il dimensionamento del **“MURO DI SOSTEGNO COMPLANARE INTERNA (TRATTO1) DA pk 0+200 a pk 0+297”**.

Tutti i muri presentano generalmente tratti di sviluppo variabile caratterizzati da diverse sezioni tipologiche individuate in progetto con i numeri da 02 a 09, in funzione dell’altezza massima del paramento di elevazione. In particolare, il tipologico 02 è l’unico che presenta una fondazione diretta.

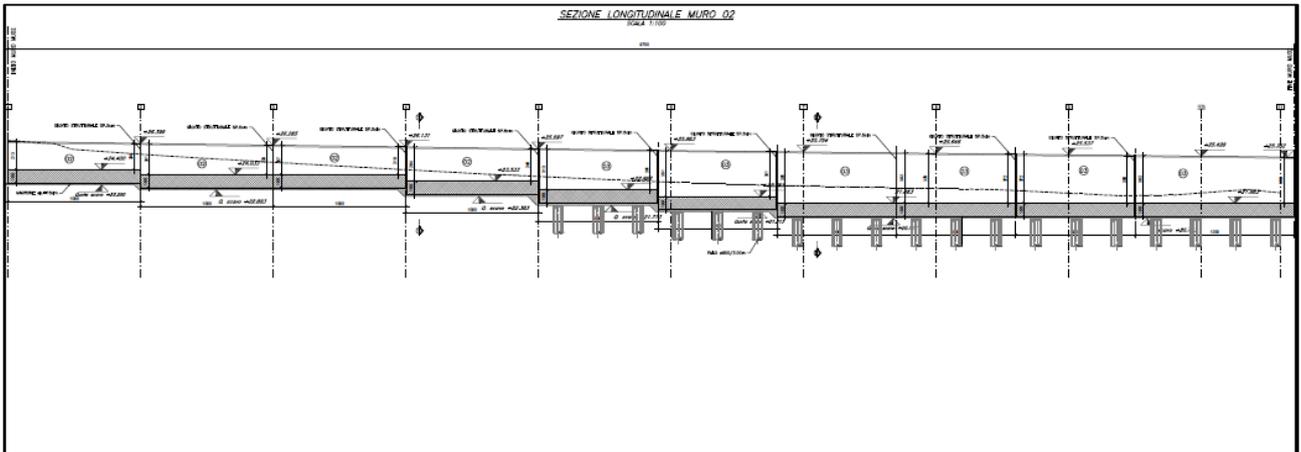
Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all’opera.

### 1.1 Descrizione dell’opera

L’opera consiste in un muro gettato in opera lungo 97.00 m e realizzato mediante tratti di muro tipologico del tipo 02-03



*Figura 1: planimetria muro di sostegno*

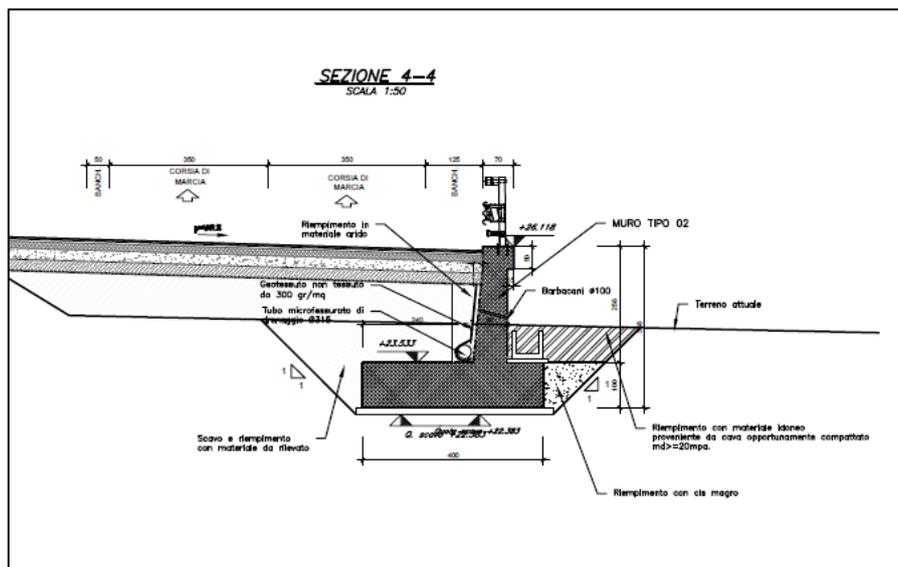


**Figura 2: profilo longitudinale muro di sostegno**

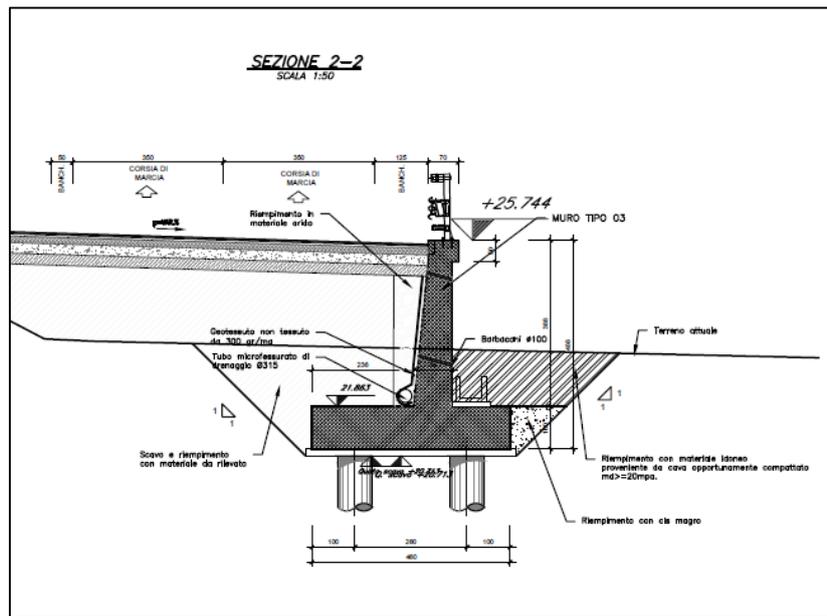
Nel seguito si riportano le principali caratteristiche geometriche dei muri in esame, ed a seguire alcune immagini rappresentative delle sezioni trasversali di calcolo analizzate

TIPO	Paramento	Fondazione				Pali				
	H [m]	L [m]	Spessore [m]	Mensola monte [m]	Mensola Valle [m]	Numero [-]	Diametro [m]	Lunghezza [m]	Interasse long. [m]	Interasse trasv. [m]
02	3.00	4.00	1.0	2.45	0.80	-	-	-	-	-
03	4.00	4.60	1.0	2.30	1.40	2	0.80	20	3.00	2.60

**Tabella 1: caratteristiche geometriche muro di sostegno**



**Figura 3: sezione trasversale muro tipologico 02**



**Figura 4: sezione trasversale muro tipologico 03**

## 2 DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Di seguito è riportato l’elenco delle Normative e dei Documenti assunti come riferimento per il progetto delle opere trattate nell’ambito del presente documento.

- D.M. 17/01/2018 (NTC18): “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 21/01/2019, n.7 CSLLP
- Norma Europea UNI ENV 1990: “Eurocodice 0 – Basi di calcolo”;
- Norma Europea UNI ENV 1991: “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture”;
- Norma Europea UNI ENV 1992: “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo”;
- Norma Europea UNI ENV 1997: “Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica”;
- Norma Europea UNI EN 1198: “Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture”.

## 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Di seguito sono riportati per ciascuno materiale, i valori delle resistenze e parametri generali da adottare in sede di calcolo secondo quanto stabilito dalla normativa vigente:

Di seguito sono riportati per ciascuno materiale, i valori delle resistenze e parametri generali da adottare in sede di calcolo secondo quanto stabilito dalla normativa vigente:

### 3.1 Calcestruzzo per Muri

Per le strutture in esame si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d’esposizione	C32/40	Classe minima di consistenza
XC4	fck ≥ 32 MPa Rck ≥ 40 MPa	S3 – S4

**Tabella 2: caratteristiche calcestruzzo per muri**

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	40	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33.20	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41.2	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_c$	1,5	[-]
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22.13	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18.81	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} [R_{ck} < 50/60]$	3.09	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2.17	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3.71	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.45	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33642.8	N/mm <sup>2</sup>

**Tabella 3: caratteristiche meccaniche calcestruzzo per muri**

Copriferro netto: 50mm

### 3.2 Calcestruzzo per Pali

Per le strutture in esame si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione	C25/30	Classe minima di consistenza
XC2	$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$ $R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$	S3 – S4

**Tabella 4: caratteristiche calcestruzzo per muri**

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	$R_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	24.9	N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32.9	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_c$	1,5	[-]
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	21.93	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18.64	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} [R_{ck} < 50/60]$	2.56	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	1.79	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3.07	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1.19	N/mm <sup>2</sup>
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	31447.16	N/mm <sup>2</sup>

**Tabella 5: caratteristiche meccaniche calcestruzzo per muri**

Copriferro netto: 60mm

### 3.3 Acciaio per calcestruzzo armato

Acciaio per calcestruzzo armato tipo B 450 C secondo le NTC18 avente le seguenti caratteristiche:

Modulo di elasticità longitudinale	$E_s$	=	210000	[MPa]
------------------------------------	-------	---	--------	-------

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s$	=	1,15	[-]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	=	450	[MPa]
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	=	540	[MPa]
Allungamento	$A_{gtk}$	$\geq$	7,50%	[-]
Resistenza di calcolo	$f_{yd}$	=	391,3	[MPa]

**Tabella 6: caratteristiche meccaniche acciaio**

Coefficiente sicurezza SLU

$$\gamma_s = 1,15$$

Resistenza di calcolo SLU

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,30 \text{ N/mm}^2$$

Tensione di calcolo SLE

$$\sigma_{y,ad} = 0,80 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$$

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Analizzando il profilo geologico-geotecnico, con riferimento al tratto di ubicazione del muro in oggetto emerge quanto di seguito riportato. Per la caratterizzazione geotecnica del terreno si rimanda alla Relazione Geotecnica.

Dalla scheda stratigrafica si desume la stratigrafia di progetto con i relativi parametri caratteristici:

Unità geotecnica	Profondità da p.p. [m]	Tipo di sottosuolo
<b>AL</b>	0 - 5	<b>C</b>
<b>CL</b>	5-10	
<b>FC</b>	>10	

**Tabella 7: unità geologiche del sito**

Unità AL (argilla limosa alluvionale)	
$\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 10 \text{ kPa}$ (5 kPa)	coesione drenata
$\varphi' = 26^\circ$	angolo di attrito
$C_u = 50 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza a taglio in condizioni non drenate
$E_0 = 70 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale ( a piccole deformazioni)
$E'_{op} = 10 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo

**Tabella 8: caratteristiche geotecniche Unità AL**

Unità CL (limo sabbioso argilloso)	
$\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 29^\circ$	angolo di attrito
$C_u = 50 \div 170 \text{ kPa}$	resistenza a taglio in condizioni non drenate

$E_0 = 600 \div 650$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale ( a piccole deformazioni)
$E'_{op} = 40$ MPa	modulo di deformazione elastico operativo

**Tabella 9: caratteristiche geotecniche Unità TL**

<b>Unità FC (argilla limosa giallognola)</b>	
$\gamma = 19.0$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 10 \div 15$ kPa (10 kPa)	coesione drenata (valore di progetto)
$\varphi' = 25 \div 26^\circ$ (25°)	angolo di attrito (valore di progetto)
$C_u = 100 \div 200$ kPa	Resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E = 600 \div 650$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)
$E'_{op} = 40$ MPa	modulo di deformazione elastico operativo

Il livello di falda da utilizzare nelle analisi deve tenere conto della relativa variabilità lungo i tratti interessati dalla realizzazione delle opere, nonché del livello medio di approfondimento del piano di posa delle fondazioni dei muri in funzione del tipologico di riferimento rispetto al piano campagna. Nel progetto in esame la falda interessa il volume significativo dell'opera in quanto essa è stata individuata a -3m da p.c..

#### 4.1 Terreno di riempimento e rinterro

Il terreno di rinterro dell'opera è costituito da terreno di rilevato stradale per il quale sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche:

<b>Terreno di rinterro a tergo del muro (rilevato stradale)</b>	
$\gamma = 20.0$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c' = 0$ kPa	coesione drenata

**Tabella 10: caratteristiche geotecniche terreno di rinterro**

#### 4.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione dell'opera sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche:

<b>Unità AL (argilla limosa alluvionale)</b>	
$\gamma = 18$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 5$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio

**Tabella 11: valori geotecnici di progetto unità AL**

<b>Unità CL (limo sabbioso argilloso)</b>	
$\gamma = 18$ kN/m <sup>3</sup>	peso di volume naturale
$c' = 5$ kPa	coesione drenata
$\varphi' = 29^\circ$	angolo di resistenza al taglio

**Tabella 12: valori geotecnici di progetto unità CL**

<b>Unità FC ( argilla limosa giallognola)</b>	
---	--

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio

**Tabella 13: valori geotecnici di progetto unità FC**

### 4.3 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale ( $V_N$ ), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso ( $C_U$ ).

Per l'opera in oggetto si considera una vita nominale:  $V_N = 50$  anni. Riguardo invece la Classe d'Uso, all' opera in oggetto corrisponde una Classe IV a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II):  $C_U = 2.0$ .

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutati in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a  $V_R = 50 \times 2.0 = 100$  anni.

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

### 4.4 Parametri di pericolosità sismica

La categoria di sottosuolo riportata nella relazione geotecnica è la **categoria di sottosuolo C**.

Per l'individuazione dei parametri di pericolosità sismica, del caso in esame, è stato consultato il sito <https://www.acca.it/edilus-ms/>. Si riportano di seguito le immagini relative alla definizione dello spettro di risposta elastico

Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)
<input type="text" value="41.92957293"/>	<input type="text" value="12.60454902"/>
Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)
<input type="text" value="41.931299"/>	<input type="text" value="12.605337"/>
Altitudine (mt) .....	<input type="text" value="33"/>
Classe dell'edificio	
<input type="text" value="IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche i"/>	
Vita Nominale Struttura .....	<input type="text" value="50"/>
Periodo di Riferimento per l'azione sismica .....	<input type="text" value="100"/>

**Parametri di pericolosità Sismica**

Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g/g$ [-]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
Operatività	60	0.067	2.490	0.274
Danno	101	0.083	2.489	0.279
Salvaguardia Vita	949	0.182	2.572	0.290
Prevenzione Collasso	1950	0.225	2.533	0.303

**Figura 5: individuazione della pericolosità sismica del sito**

<b>Fo [-]</b>	2.572	<b>η [-]</b>	1.000
<b>T*C [s]</b>	0.29	<b>TB [s]</b>	0.153
<b>SS [-]</b>	1.418	<b>TC [s]</b>	0.458
<b>CC [-]</b>	1.58	<b>TD [s]</b>	2.328
<b>ST [-]</b>	1.000		

*Tabella 14: parametri sismici allo SLV*

## 5 CRITERI GENERALI DI VERIFICA DELLE OPERE

Nel seguente paragrafo si riporta una descrizione riguardante procedure e criteri di calcolo adottati per l’effettuazione di tutte le verifiche prescritte dalla normativa vigente.

### 5.1 Metodo agli stati limite ed approcci di progetto

Il progetto di opere strutturali e geotecniche va effettuato, come prescritto dalle NTC 2018, con i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull’impiego dei coefficienti parziali di sicurezza. Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale è verificata tramite il confronto tra la resistenza e l’effetto delle azioni.

La normativa distingue inoltre tra Stati Limite Ultimi e Stati Limite di Esercizio.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza è stata effettuata con il “metodo dei coefficienti parziali” di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d.$$

dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$E_d$  è il valore di progetto dell’effetto delle azioni

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

oppure

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Il coefficiente  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema.

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Fj} = \gamma_{Ej}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all’azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1 delle NTC 2018, la verifica della condizione  $R_d \geq E_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell’ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo Approccio progettuale (Approccio I) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto, convenzionalmente indicate come di seguito:

A1+M1+R1

A2+M2+R2

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

Gli stati limite di verifica si distinguono in genere in:

- **EQU** perdita di equilibrio della struttura fuori terra, considerata come corpo rigido.
- **STR** raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.
- **GEO** raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;
- **UPL** perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla spinta dell'acqua (sollevamento per galleggiamento).
- **HYD** erosione e sifonamento del terreno dovuta ai gradienti idraulici.

I coefficienti parziali da applicare alle azioni sono quelli definiti alla Tab 2.6.I delle NTC 2018 di seguito riportata per chiarezza espositiva:

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_f$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qk}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;

$\gamma_{Qk}$  coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.

I valori dei coefficienti parziali da applicare ai materiali e/o alle caratteristiche dei terreni (M) sono definiti nelle specifiche sezioni della norma, ed in particolare al Cap. 4 per ciò che concerne i coefficienti parziali da applicare ai materiali strutturali, mentre al Cap.6 sono indicati quelli da applicare alle caratteristiche meccaniche dei terreni.

I coefficienti parziali da applicare alle resistenze (R) sono infine unitari sulle capacità resistenti degli elementi strutturali, mentre assumono in genere valore diverso da 1 per ciò che concerne verifiche che attengono il controllo di meccanismi di stabilità locale o globale; i valori da adottare per ciascun meccanismo di verifica, sono definiti nelle specifiche sezioni di normativa dedicate al calcolo delle diverse opere geotecniche.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio viene effettuata invece controllando gli aspetti di funzionalità e lo stato tensionale e/o deformativo delle opere, con riferimento ad una combinazione di verifica caratterizzata da coefficienti parziali sulle azioni e sui materiali tutti unitari.

Al §2.5.3 delle NTC 2018, sono infine definiti i criteri con cui le diverse azioni presenti vanno combinate per ciascuno stato limite di verifica previsto dalla Normativa.

Nell'ambito della progettazione geotecnica, la normativa definisce inoltre nella Tab 6.2.II, i valori dei coefficienti parziali M1/M2 da applicare ai parametri caratteristici dei terreni nell'ambito delle diverse combinazioni contemplate dai due approcci di progetto:

**Tabella 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	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	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	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

Tali valori agiscono sulle proprietà dei terreni, condizionando sia le azioni (spinte ed incrementi di spinta), sia le resistenze nei riguardi delle verifiche di stabilità dell'insieme terreno-opera interagente (Paratie, Muri, Pali di Fondazione ecc.)

Inoltre, ribadisce i valori dei coefficienti da applicare alle azioni nella Tab 6.2.II di seguito riportata:

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

## 5.2 Criteri di analisi e verifica dei muri di sostegno

Per i muri di sostegno o per altre strutture miste ad essi assimilabili devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione  $R_d \geq E_d$  sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

### **SLU di tipo geotecnica (GEO)**

- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
- ribaltamento;
- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

### **SLU di tipo strutturale (STR)**

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

In condizioni statiche, la verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2018; in aggiunta a quanto già mostrato in precedenza nel documento, si riporta anche la Tab 6.8.I appena menzionata:

**Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Le rimanenti verifiche, in condizioni statiche, devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I di seguito riportata.

**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	$\gamma_R = 1,4$

Nella verifica a ribaltamento, i coefficienti R3 della Tab. 6.5.I, si applicano agli effetti delle azioni stabilizzanti.

Come già specificato al paragrafo precedente, trattandosi nel caso specifico di opere soggette ad azioni da traffico veicolare, in luogo dei coefficienti generici di cui alle Tab 6.2.I, si è fatto riferimento a quelli di cui alle Tab. 5.I.V e 5.I.VI del già citato DM.

**Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

**Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali**

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combi- nazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequent)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Le spinte devono tenere conto del sovraccarico e dell'inclinazione del piano campagna, dell'inclinazione del paramento rispetto alla verticale, delle pressioni interstiziali e degli effetti della filtrazione nel terreno; nel calcolo della spinta si può tenere conto dell'attrito che si sviluppa fra parete e terreno.

Ai fini della verifica alla traslazione sul piano di posa di muri di sostegno con fondazioni superficiali, non si deve in generale considerare il contributo della resistenza passiva del terreno antistante il muro, salvo casi particolari in cui, in relazione caratteristiche meccaniche dei terreni ed alle modalità costruttive, è possibile portare in conto un'aliquota di tale resistenza, nella misura massima del 50% del valore teorico.

### 5.3 Prescrizioni generali per le verifiche in fase sismica

Sotto l'effetto dell'azione sismica di progetto, le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (SLV); quelle agli stati limite di esercizio si riferiscono al solo stato limite di danno (SLD). Le verifiche devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nella tabella 7.11.III riportata in seguito:

**Tab. 7.11.III - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche degli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.**

Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Per i muri di sostegno ubicati in corrispondenza di versanti o in prossimità di pendii naturali devono essere soddisfatte le condizioni di stabilità del pendio, in presenza della nuova opera, con i metodi di analisi riportati al §7.11.3.5. delle NTC2018. Deve inoltre essere soddisfatta la verifica di stabilità del complesso muro-terreno con i criteri indicati al §7.11.4. ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente  $\gamma_R=1.2$ .

Il §7.11.6.2.1 delle NTC 2018, precisa che l’analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche, può essere eseguite mediante i metodi pseudo-statici o i metodi degli spostamenti. Nell’analisi pseudo-statica, l’azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

con:

$g$  accelerazione di gravità;

$a_{max} = S_S S_T a_g$  accelerazione massima attesa sul suolo di riferimento ( $a_g$  è l’accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido,  $S_S$  e  $S_T$  sono i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, come già definiti nell’ambito del precedente paragrafo §0);

**Per muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede,  $\beta_m$  coefficiente di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito assume il valore di 0.38 nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV) e 0.47 nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD). Inoltre, si può assumere che l’incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica con distribuzione triangolare.**

**Per i muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno (MURI SU PALI), il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario. Inoltre, si deve assumere che l’incremento di spinta dovuto al sisma sia applicato a metà altezza del muro secondo una distribuzione di tipo rettangolare.**

#### 5.4 Prescrizioni generali per le verifiche dovute a carichi eccezionali

Con riferimento al § 5.1.3.13 del D.M. 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, si puntualizza che le azioni d’urto agenti sugli elementi strutturali orizzontali al disopra della strada, sono da impiegarsi per la verifica di sicurezza globale dell’impalcato nel suo insieme inteso come corpo rigido (sollevamento/ribaltamento). Occorre pertanto verificare la resistenza del muro di sostegno cui sono collegate le barriere di sicurezza nei confronti delle azioni da urto veicolare. Tali azioni, si ricorda, sono azioni eccezionali, quindi caratterizzate da coefficienti di sicurezza dei materiali e da coefficienti di amplificazione dei carichi unitari. Per le verifiche strutturali e geotecniche relative alla struttura in oggetto si fa riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 2.5.3. Sulla base di ciò è stata individuata la combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$F_d = \sum_{j=1}^m (G_{Kj}) + P + A_d + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \gamma_{Qi} Q_{Ki})$$

dove:

$\gamma_G$  e  $\gamma_Q$  rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi –

$G_{Kj}$  rappresenta il valore caratteristico della  $j$ -esima azione permanente

$Q_{K1}$  rappresenta il valore caratteristico dell’azione variabile di base in ogni combinazione

$Q_{Ki}$  rappresenta il valore caratteristico della  $i$ -esima azione variabile

$\Psi_{0i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici

## 6 CRITERI DI ANALISI E VERIFICHE DELLE OPERE

Nel seguente paragrafo si riporta una descrizione riguardante le procedure e i criteri di calcolo adottati per l'effettuazione di tutte le verifiche prescritte dalla normativa vigente suddividendole in:

- **Verifiche geotecniche**
- **Verifiche strutturali**

### 6.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono quelle che coinvolgono la resistenza del terreno nell'ambito di quelle prescritte dalla normativa. Esse sono:

- **Verifica allo scorrimento**
- **Verifica a carico limite**
- **Verifica a ribaltamento**
- **Verifica di stabilità globale**

#### 6.1.1 Verifica allo scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro, sia minore di tutte le forze resistenti lungo la stessa direzione.

La verifica a scorrimento risulta in particolare soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento ( $F_r$ ) fattorizzata secondo un opportuno coefficiente parziale  $\gamma_r$  stabilito dalla normativa e la risultante delle forze mobilitanti ( $F_s$ ) risulti non inferiore all'unità:

$$(F_r / \gamma_r) / F_s \geq 1$$

ovvero che il rapporto  $F_r/F_s$  risulti non inferiore di  $\gamma_r$ , fissato dalla normativa pari ad **1,1** in condizioni statiche e **1** in condizioni sismiche.

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito lungo la base della fondazione.

Detta  $N$  la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, la forza resistente può esprimersi come:

$$F_r = N \operatorname{tg} \varphi$$

In casi particolari specificati dalla normativa è possibile eventualmente tener conto della resistenza passiva  $S_p$  del terreno a valle del muro.

La valutazione delle azioni resistenti e di quelle mobilitanti, dovrà tener conto dei coefficienti  $A$  ed  $M$  fissati dalla normativa per la combinazione di verifica specifica.

Per quanto riguarda l'attrito fondazione muro - terreno considerato ai fini delle verifiche di scorrimento sul piano di posa della fondazione, si è assunto quanto segue:

per  $\varphi' < 30^\circ$  allora  $\mu = \operatorname{tg} \varphi'$ ;

per  $\varphi' > 35^\circ$  allora  $\mu = 0.85 \operatorname{tg} \varphi'$ ;

per  $30^\circ \leq \varphi' \leq 35^\circ$  allora  $\mu$  si ricava per interpolazione lineare

In condizioni sismiche, la forza mobilitante per muri di sostegno diretti viene calcolata secondo il metodo pseudostatico considerando un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_m$  pari a 0.38.

Tale verifica perde di significato nel caso di muri su pali.

### 6.1.2 Verifica a ribaltamento

La verifica al ribaltamento di un muro di sostegno, prevede la valutazione del coefficiente di sicurezza nei confronti del meccanismo di rotazione dell'opera rispetto al vertice esterno della fondazione.

Nella fattispecie, detti  $M_{rib}$ , momento delle azioni ribaltanti, e  $M_{sta}$ , momento delle azioni stabilizzanti, occorrerà verificare quanto segue:

$$M_{sta} / R \geq M_{rib}$$

In accordo a quanto prescritto dalla normativa vigente, la verifica a ribaltamento deve essere effettuata in condizioni statiche secondo l'approccio 2 (A1+ M1+R3) in cui i coefficienti parziali  $\gamma_R$  pari a **1.15** si applicano alle azioni stabilizzanti. In condizioni sismiche, la verifica deve essere effettuata ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando un coefficiente parziale di sicurezza sulle azioni stabilizzanti  $\gamma_R$  pari a **1.0**. Lo stato limite di ribaltamento in condizioni sismiche deve essere trattato impiegando valori di  $\beta_m$  incrementati del 50% rispetto a quelli indicati al par. 7.3. e comunque non superiori all'unità.

Tale verifica perde di significato nel caso di muri su pali.

### 6.1.3 Verifica di stabilità globale

Le NTC 2018 affrontano il tema della Stabilità Globale distinguendo tra il caso dei Pendii Naturali (§ 6.3) e quello delle opere in terra in Materiali sciolti e Fronti di scavo (§ 6.8) fornendo prescrizioni differenti circa i criteri di verifica da adottare nei due casi. Trattandosi nel caso in esame di valutare la Stabilità Globale di Opere a sostegno di scavi, si ricade nel caso dei “Fronti di Scavo e rilevati”.

Il punto 6.8 delle NTC 2018 e relativa circolare applicativa, tratta l'argomento della verifica di Stabilità di Materiali Sciolti e fronti di scavo, nella fattispecie, al punto 6.8.2 “Verifiche di Sicurezza (SLU)” viene prescritto quanto di seguito: Le verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

In aggiunta a quanto già riportato nei precedenti paragrafi, si riporta di seguito la Tab. 6.8.I, in cui è definito il valore del coefficiente parziale “R2” da applicare al valore della resistenza caratteristica calcolata per la generica superficie di potenziale scivolamento analizzata in condizioni statiche:

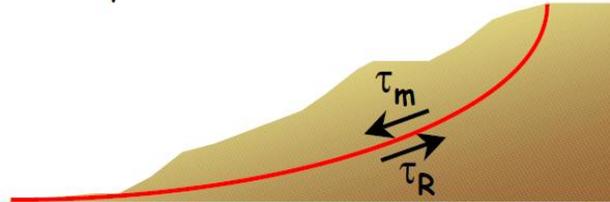
**Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.**

Coefficiente	<b>R2</b>
$\gamma_R$	1.1

In condizioni sismiche in accordo alle prescrizioni al § 7.11.4. le resistenze di progetto devono essere calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R=1.2$ .

Nel presente paragrafo sono illustrati i Criteri generali adottati per l'effettuazione delle Verifiche di Stabilità Globale prescritte dalla normativa. In generale, ciascuno metodo va alla ricerca dei potenziali superfici di scivolamento, generalmente di forma circolare, in qualche caso anche di forma diversa, rispetto a cui effettuare un equilibrio alla

rotazione (o roto-traslazione) della potenziale massa di terreno coinvolta nel possibile movimento e quindi alla determinazione di un coefficiente di sicurezza coefficiente di sicurezza disponibile, espresso in via generale tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie, ovvero:



$$FS = \frac{\int_S \tau_{rott}}{\int_S \tau_{mob}}$$

**Figura 6: illustrazione superficie di scorrimento**

Si procede generalmente suddividendo la massa di terreno coinvolta nella verifica in una serie di conci di dimensione b, interessati da azioni taglianti e normali sulle superfici di delimitazione dello stesso come di seguito rappresentato.

Per il caso in esame, le verifiche sono state effettuate rispetto a superfici di forma circolare, utilizzando il metodo di Bishop, per i cui dettagli si rimanda a quanto esposto a riguarda nella letteratura tecnica.

Le verifiche sono state effettuate rispetto a famiglie di superfici potenziali di rottura disegnate in maniera tale da non intersecare le opere, escludendo quindi ai fini della stabilità la resistenza al taglio locale offerta dalle opere, fermo restando tutte le prescrizioni definite dalla normativa per questo tipo di verifica.

#### 6.1.4 Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi verticali

Tratti di muro dell’opera in oggetto presentano una fondazione indiretta costituita da una platea di fondazione su pali trivellati, il cui valore di progetto  $R_d$  della resistenza a carichi assiali dei singoli pali si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella tabella 6.4.II seguente:

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

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
	$\gamma_R$			
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale $\gamma$	$\gamma$	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.

In condizioni sismiche, i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri meccanici del terreno sono unitari mentre i coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze sono riportati nella tabella 6.4.II.

La resistenza caratteristica  $R_k$  del singolo palo è determinata mediante metodi di calcolo analitici, dove  $R_k$  è calcolata a partire a da valori caratteristici dei parametri geotecnici e/o mediante l’impiego di relazioni empiriche che utilizzano direttamente i risultati di prove in situ.

La normativa vigente definisce per tali procedure, il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  (o  $R_{t,k}$ ) come il valore minore tra quelli ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{c,calc}$  ( $R_{t,calc}$ ) i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella tabella seguente, in funzione del numero n di verticali di indagini:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,calc})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,calc})_{min}}{\xi_4} \right\} \qquad R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,calc})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

**Tabella 13 - Fattori di correlazione  $\xi$**

n	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

La campagna di indagine condotta in fase di progettazione definitiva permette di assumere in sede di calcolo un fattore di correlazione pari a  $\xi_3 = \xi_4 = 1.70$ .

### 6.1.5 Capacità portante dei pali nei confronti dei carichi orizzontali

Il carico orizzontale limite  $H_{lim}$  è stato calcolato in accordo alla teoria proposta da Broms (1984).

Le ipotesi assunte da Broms sono le seguenti:

- terreno omogeneo;
- comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico;
- la forma del palo è ininfluyente e l'interazione palo-terreno è determinata solo dalla dimensione caratteristica D della sezione del palo (il diametro per sezioni circolari, il lato per sezioni quadrate, etc.) misurata normalmente alla direzione del movimento;
- il palo ha comportamento rigido-perfettamente plastico, cioè si considerano trascurabili le deformazioni elastiche del palo.

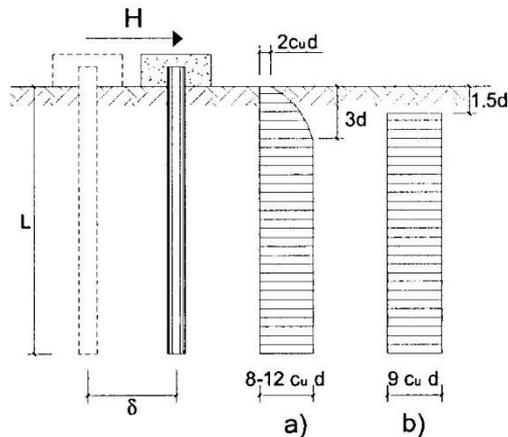
Questa ultima ipotesi comporta che il palo abbia solo moti rigidi finché non si raggiunge il momento di plasticizzazione  $M_y$  del palo. A questo punto si ha la formazione di una cerniera plastica in cui la rotazione continua indefinitamente con momento costante.

In accordo alla condizione di vincolo dei pali nei plinti di fondazione, il palo è considerato impedito di ruotare in testa.

Per quanto riguarda la resistenza del terreno, si riportano in seguito le distribuzioni per terreno a comportamento coesivo e a comportamento incoerente, sulla base di analisi teoriche ed osservazioni sperimentali.

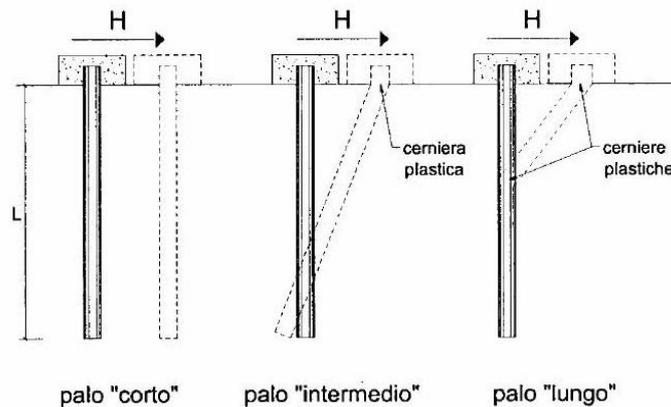
#### 6.1.5.1 Unità a comportamento coesivo

Il diagramma di distribuzione della resistenza  $p$  offerta dal terreno lungo il fusto del palo è quello riportato in fig. 8-a. Broms adotta al fine delle analisi una distribuzione semplificata (b) con reazione nulla fino a  $1.5 d$  e costante con valore  $9 c_u d$  per profondità maggiori.



**Figura 7: Distribuzione della resistenza offerta dal terreno a carichi orizzontali per pali impediti di ruotare alla testa (Broms, 1984)**

I meccanismi di rottura del complesso palo-terreno sono condizionati dalla lunghezza del palo, dal momento di plasticizzazione della sezione e dalla resistenza esercitata dal terreno. I possibili meccanismi di rottura sono riportati nella figura seguente e sono solitamente indicati come "palo corto", "intermedio" e "lungo".



**Figura 8 – Meccanismi di rottura del complesso palo-terreno per pali impediti di ruotare alla testa soggetti a carichi orizzontali (Broms, 1984)**

Facendo ricorso a semplici equazioni di equilibrio ed imponendo la formazione di una cerniera plastica nelle sezioni che raggiungono un momento pari a  $M_y$ , è possibile calcolare il carico limite orizzontale corrispondente ai tre meccanismi di rottura:

$$H_{lim} = 9c_u D^2 \left( \frac{L}{D} - 1.5 \right) \quad \text{palo corto}$$

$$H_{lim} = -9c_u D^2 \left( \frac{L}{D} - 1.5 \right) + 9c_u D^2 \sqrt{2 \left( \frac{L}{D} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u D^3} + 4.5} \quad \text{palo intermedio}$$

$$H_{lim} = -13.5c_u D^2 + c_u D^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u D^3}} \quad \text{palo lungo}$$

Con riferimento al caso in oggetto, il meccanismo di rottura è sempre quello di palo lungo.

Nel caso di palo scalzato e per il caso di palo lungo, il valore di  $H_{lim}$  si ottiene risolvendo le seguenti equazioni:

$$H_{lim} = 9c_u D \times (f - 1.5D)$$

$$H_{lim} \times (d_s + f) - 4.5c_u D (f - 1.5D)^2 - 2M_y = 0$$

Essendo:

f la profondità della cerniera plastica dal piano di campagna;

$d_s$  l'altezza della testa del palo rispetto al piano di campagna.

### 8.1.5.1 Unità a comportamento incoerente

Per un terreno incoerente si assume che la resistenza opposta dal terreno alla traslazione del palo vari linearmente con la profondità con legge:

$$p = 3 k_p \gamma z D$$

essendo:

$k_p$  il coefficiente di spinta passiva;

z la profondità da piano campagna;

$\gamma$  il peso di volume del terreno, nel caso in cui il terreno sia sotto falda si assume  $\gamma'$ .

I valori del carico limite corrispondenti ai diversi meccanismi di rottura sono di seguito riportati:

$$H_{lim} = 1.5 k_p \gamma D^3 \left( \frac{L}{D} \right)^2 \quad \text{palo corto}$$

$$H_{lim} = \frac{1}{2} k_p \gamma D^3 \left( \frac{L}{D} \right)^2 + \frac{M_y}{L} \quad \text{palo intermedio}$$

$$H_{lim} = k_p \gamma D^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma D^4} \right)^2} \quad \text{palo lungo}$$

Con riferimento ai casi in oggetto, il meccanismo di rottura è sempre quello di palo lungo.

Nel caso di palo scalzato e per il caso di palo lungo, il valore di  $H_{lim}$  si ottiene risolvendo le seguenti equazioni:

$$H_{lim} = 1.5 k_p \gamma D f^2$$

$$f^3 + 1.5 D f^2 - \left( \frac{2 M_y}{\gamma k_p D} \right) = 0$$

Essendo:

f la profondità della cerniera plastica dal piano di campagna;

$d_s$  l'altezza della testa del palo rispetto al piano di campagna.

Il valore di progetto  $R_d$  della resistenza a carichi assiali dei singoli pali si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando il coefficiente parziale  $\gamma_R$  riportato nella tabella successiva:

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

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

La resistenza caratteristica  $R_k$  del singolo palo è determinata mediante metodi di calcolo analitici, dove  $R_k$  è calcolata a partire da valori caratteristici dei parametri geotecnici e/o mediante l'impiego di relazioni empiriche che utilizzano direttamente i risultati di prove in situ. La normativa vigente definisce per tali procedure, il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  (o  $R_{t,k}$ ) come il valore minore tra quelli ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{c,calc}$  ( $R_{t,calc}$ ) i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella tabella seguente, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagini:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,calc})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,calc})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,calc})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,calc})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

**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

**Tabella 15: Fattori di correlazione  $\xi$**

La campagna di indagine condotta in fase di progettazione definitiva permette di assumere in sede di calcolo un fattore di correlazione pari a  $\xi_3 = \xi_4 = 1.70$ .

### 6.1.6 Verifica a carico limite per fondazioni superficiali

I tratti di muro tipologico 02 presentano una fondazione diretta. Pertanto, si riporta nel presente paragrafo una trattazione teorica della valutazione del carico limite delle fondazioni dirette secondo il criterio di Brinch-Hansen:

Dette:

- $c$  Coesione
- $V$  Azione tagliante
- $\varphi$  Angolo d'attrito
- $\delta$  Angolo di attrito terreno fondazione
- $\gamma$  Peso specifico del terreno
- $B$  Larghezza della fondazione
- $L$  Lunghezza della fondazione
- $D$  Profondità del piano di posa della fondazione
- $\eta$  inclinazione piano posa della fondazione
- $P$  Pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione
- $q_{ult}$  Carico ultimo della fondazione

Risulta:

**Caso generale**

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

**Caso di terreno puramente coesivo  $\varphi = 0$**

$$q_{ult} = 5.14 \cdot c \cdot (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + q$$

in cui  $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_\gamma$  sono i fattori di profondità,  $s_c$ ,  $s_q$  e  $s_\gamma$  sono i fattori di forma,  $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_\gamma$  sono i fattori di inclinazione del carico,  $b_c$ ,  $b_q$  e  $b_\gamma$ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa e  $g_c$ ,  $g_q$  e  $g_\gamma$  sono fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  sono espressi come:

$$N_q = Kp e^{\pi tg\phi}$$

$$N_c = (N_q - 1)ctg\phi$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)tg\phi$$

#### Fattori di forma

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$s_c = 0.2 \frac{B}{L}$	$s_c = 1 + \frac{N_q B}{N_c L}$
	$s_q = 1 + \frac{B}{L} tg\phi$
	$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$

#### Fattori di profondità

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} > 1$$

#### Fattori inclinazione del carico

Indicando con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con  $A_f$  l'area efficace della fondazione ottenuta come  $A_f = B' \times L'$  ( $B'$  e  $L'$  sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B, L e all'eccentricità del carico  $e_B$ ,  $e_L$  dalle relazioni  $B' = B - 2e_B$   $L' = L - 2e_L$ ) con  $\eta$  l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ( $\eta=0$  per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$	
$i_c = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}} \right)$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$	
	$i_q = \left( 1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$	
	Per $\eta = 0$	$i_\gamma = \left( 1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$
	Per $\eta > 0$	$i_\gamma = \left( 1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ)H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$

#### Fattori inclinazione del piano di posa della fondazione

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$	$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$
	$b_q = e^{-2\eta^\circ \phi}$
	$b_\gamma = e^{-2.7\eta^\circ \phi}$

#### Fattori di inclinazione del terreno

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$	$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$
	$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5tg\beta)^\circ$

Si precisa infine che, in relazione alle specifiche di normativa, al valore di  $q_{ult}$  determinato con i criteri di cui sopra, va applicato un coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  pari ad **1.4** per le verifiche in fase statica ovvero pari ad **1.2** per le verifiche in fase sismica, ovvero, equivalentemente, i coefficienti di sicurezza  $q_{ult}/q_d$ , dovranno risultare non inferiori ai predetti valori nelle due fasi di verifica citate.

## 6.2 Verifiche Strutturali- SLU

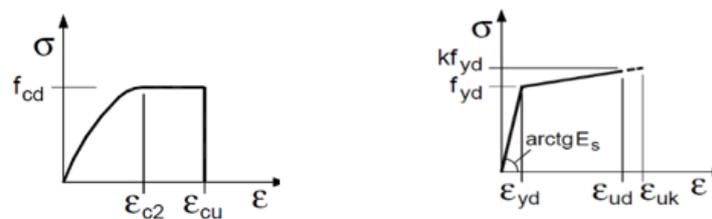
Le verifiche strutturali allo SLU (Stato Limite Ultimo) sono quelle che riguardano l'attingimento della resistenza degli elementi strutturali. Esse sono:

- **Verifica a pressoflessione**
- **Verifica a taglio**

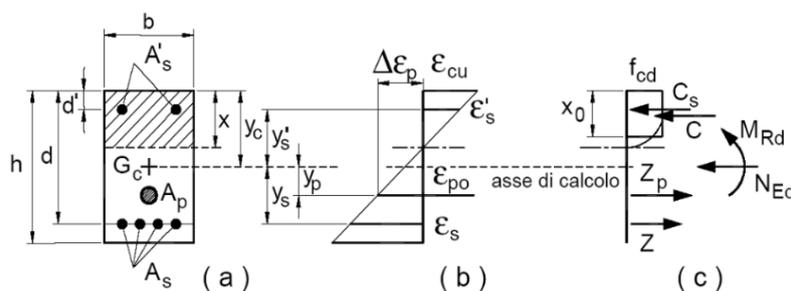
Come per le verifiche geotecniche (ad eccezione della verifica di stabilità globale), esse devono essere condotte secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

### 6.2.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC 2018, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali:



*Figura 9: legami costitutivi calcestruzzo e acciaio*



*Figura 10: Schema di riferimento per la valutazione della capacità resistente a pressoflessione della generica sezione*

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

### 6.2.2 Taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura priva di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w d$$

dove:

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2;$$

$$\rho_1 = A_{sw} / (b_w d);$$

d = altezza utile per piedritti soletta superiore ed inferiore;

b<sub>w</sub> = 1000 mm larghezza utile della sezione ai fini del taglio.

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio V<sub>Rd</sub> è il minimo tra la resistenza a taglio trazione V<sub>Rsd</sub> e la resistenza a taglio compressione V<sub>Rcd</sub>.

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha$$

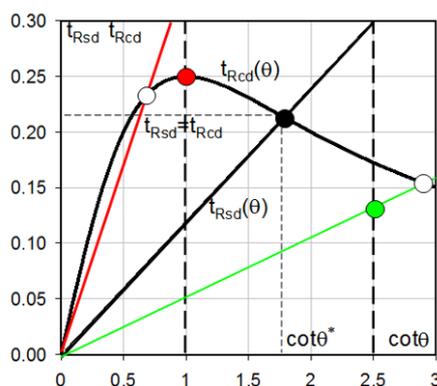
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta)}{(1 + \text{ctg}^2 \theta)}$$

essendo:

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5$$

Per quanto riguarda in particolare le verifiche a taglio per elementi armati a taglio, si è fatto riferimento al metodo del traliccio ad inclinazione variabile, in accordo a quanto prescritto al punto 4.1.2.1.3 delle NTC 2018, considerando ai fini delle verifiche, un angolo θ di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21.8^\circ$$



L'angolo effettivo di inclinazione delle bielle (θ) assunto nelle verifiche è stato in particolare valutato, nell'ambito di un problema di verifica, tenendo conto di quanto di seguito indicato:

$$\cot \theta^* = \sqrt{\frac{v \cdot \alpha_c}{\omega_{sw}} - 1}$$

(θ\* angolo di inclinazione delle bielle cui corrisponde la crisi contemporanea di bielle compresse ed armature)

dove:

$$v = f'_{cd} / f_{cd} = 0.5;$$

f'\_{cd} = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima;

$f_{cd}$  = resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo d’anima;

$$\omega_{sw} = \text{percentuale meccanica di armatura trasversale } \omega_{sw} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{b s f_{cd}};$$

$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

- Se la  $\cot\theta^*$  è compresa nell'intervallo (1,0-2,5) è possibile valutare il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd}=V_{Rsd})$
- Se la  $\cot\theta^*$  è maggiore di 2,5 la crisi è da attribuirsi all'armatura trasversale e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rsd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle armature trasversali valutabile per una  $\cot\theta = 2,5$ .
- Se la  $\cot\theta^*$  è minore di 1,0 la crisi è da attribuirsi alle bielle compresse e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle bielle di calcestruzzo valutabile per una  $\cot\theta = 1,0$ .

### 6.2.3 Verifiche strutturali- SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l’ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato.

### 6.2.4 Stato limite di limitazione delle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l’acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche “Rara” e “Quasi Permanente”; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo “non reagente a trazione” adottando come limiti di riferimento quelli di seguito indicati, in accordo alle prescrizioni della normativa vigente:

riferimento,

Per il caso in esame risulta in particolare:

#### **CALCESTRUZZO ELEVAZIONE/FONDAZIONE C32/40**

$\sigma_{c,max,Q.P.} = 0,45 f_{cK}$	14.4	MPa	(combinazione di carico Quasi Permanente)
$\sigma_{c,max,R.} = 0,60 f_{cK}$	19.2	MPa	(combinazione di carico Rara)

*Tabella 16: limiti tensione calcestruzzo*

#### **CALCESTRUZZO PALI C25/30**

$\sigma_{c,max,Q.P.} = 0,45 f_{cK}$	11.25	MPa	(combinazione di carico Quasi Permanente)
$\sigma_{c,max,R.} = 0,60 f_{cK}$	15	MPa	(combinazione di carico Rara)

*Tabella 17: limiti tensione calcestruzzo*

#### **ACCIAIO**

$\sigma_{f,max} = 0,80 f_{yK}$	360	MPa	(combinazione di carico Rara)
--------------------------------	-----	-----	-------------------------------

*Tabella 18: limiti tensione acciaio*

### 6.2.5 Stato limite di fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico “Frequente” e combinazione “Quasi Permanente”.

Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive di tipo XC4; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV].

**Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente.

Tabella 19 – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e condizioni ambientali

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	Frequente	ap. fessure	≤w2	ap. fessure	≤w3
		Quasi Permanente	ap. fessure	≤w1	ap. fessure	≤w2
b	Aggressive	Frequente	ap. fessure	≤w1	ap. fessure	≤w2
		Quasi Permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w1
c	Molto Aggressive	Frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤w1
		Quasi Permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤w1

Risultando:

w1= 0.2 mm;

w2= 0.3 mm;

w3= 0.4 mm.

Pertanto dovrà risultare:

Combinazione Quasi permanente :  $w \leq 0.2\text{mm}$

Combinazione Frequente :  $w \leq 0.3\text{mm}$

Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura riportata al C4.1.2.2.4.5 della Circolare n. 7/2019.

## 7 ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI

Nel presente paragrafo si descrivono i criteri di valutazione delle azioni sollecitanti le opere di sostegno e relative combinazioni di calcolo adottate.

## 7.1 Pesì propri e carichi permanenti

I pesì propri relativi alla struttura ed al terreno eventualmente gravante sulla fondazione, sono valutati tenendo conto dei pesì dell’unità di volume specifici  $\gamma$  come di seguito definiti:

**Calcestruzzo strutturale**  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

<b>terreno di rinterro:</b>	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
-----------------------------	------------------------------

*Tabella 20: pesì di unità di volume calcestruzzo e terreno di rinterro*

## 7.2 Carichi permanenti non strutturali

Le opere di sostegno oggetto di dimensionamento prevedono anche un carico permanente non strutturale dovuto alla pavimentazione stradale. Tale carico è schematizzato, ai fini del calcolo, come un carico uniforme agente sul profilo del terreno, di valore pari a 2.5KN/m, agente su una larghezza che dipende dalla geometria dell’asse stradale.

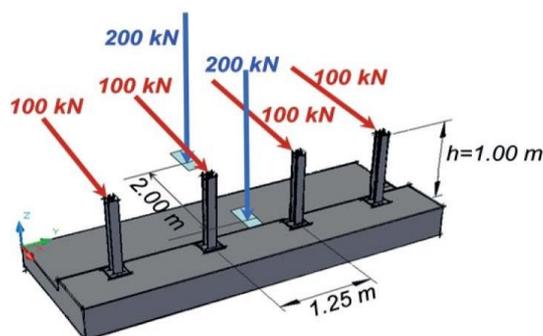
## 7.3 Carichi variabili da traffico

Le opere di sostegno oggetto di dimensionamento sono soggette alle azioni accidentali da traffico stradale. I carichi variabili associati al passaggio dei veicoli sono schematizzati, ai fini del calcolo, con dei carichi uniformi, su una larghezza complessiva pari alla dimensione della pavimentazione stradale e valore pari a 20 kN/m.

## 7.4 Azione eccezionale dovuta all’urto dell’autoveicolo in fase di svio

Al fine di quantificare il valore del momento flettente e del carico orizzontale equivalente da applicare alla sommità dell’opera d’arte per tener conto dell’eventuale collisione accidentale di veicoli in svio sulle barriere collegate al muro di sostegno si possono seguire 2 differenti approcci:

- 1) Attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a **100 kN**. Essa rappresenta l’effetto dell’impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente **100 mm** sotto la sommità della barriera o **1,0 m** sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo (§3.6.3.3.2, NTC2018).



*Figura 11: schema di carico azione d'urto*

- 2) Considerando il momento plastico che il montante della barriera metallica di sicurezza utilizzata può fornire. Tale approccio ottempera quanto previsto dal § 4.7.3.3 della UNI EN 1991.2 così come emendato dall'appendice nazionale (G.U. 27 Marzo 2013, DM 31/07/2012).

Il primo approccio è da utilizzare in assenza di specifiche prescrizioni, ovvero quando non si conoscono in fase di progetto del muro di sostegno le caratteristiche geometriche della barriera che dovrà essere installata ovvero in caso di condizioni di progettazione “non ordinarie”. In alternativa, a discrezione del progettista è possibile utilizzare come azione di progetto il momento di plasticizzazione del montante (cfr UNI EN 1991.2). È tuttavia necessario sottolineare che tale metodologia è applicabile quando in fase di progetto si conosce già il dispositivo di ritenuta da installare e le sue caratteristiche geometriche e meccaniche.

Planimetricamente, si considera una redistribuzione delle azioni sollecitanti secondo un angolo di diffusione pari a 45°.

Nel caso in esame, è stato applicato il secondo approccio, più idoneo e realistico, in quanto, pur non conoscendo ancora il tipo di barriera da installare e tutte le caratteristiche geometriche e statiche utili (comprensivi del sistema di fissaggio sul supporto in calcestruzzo, in conformità a quanto adottato in sede di prova di crash), cautelativamente è stata scelta nella gamma delle barriere indicate nelle linee guida Anas quella che consente lo sviluppo dei calcoli e delle verifiche con maggiore cautela, in quanto caratterizzata da momento plastico più alto e, quindi, trasmettente maggiori sollecitazioni sul muro di sostegno.

In particolare, si è fatto riferimento a barriere H4-bordo ponte con montanti costituiti da paletti verticali con sezione a C in acciaio S275 R, posti ad un interasse di  $i = 1,25$  m e ancorati al cordolo mediante piastra saldata e tirafondi. Si riportano le caratteristiche geometriche e meccaniche di tale barriera.

**BARRIERA H4- BORDO PONTE- SEZIONE A C**

<b>B</b> [mm]	<b>H</b> [mm]	<b>C</b> [mm]	<b>S</b> [mm]	<b>W<sub>plastico</sub></b> [cm <sup>3</sup> ]	<b>M<sub>plastico</sub></b> [KNm]	<b>M<sub>ampl</sub></b> [KNm]
160	120	40	5.5	154,22	42,41	63,62

*Tabella 21: valori geometrici e meccanici barriera H4-bordo ponte*

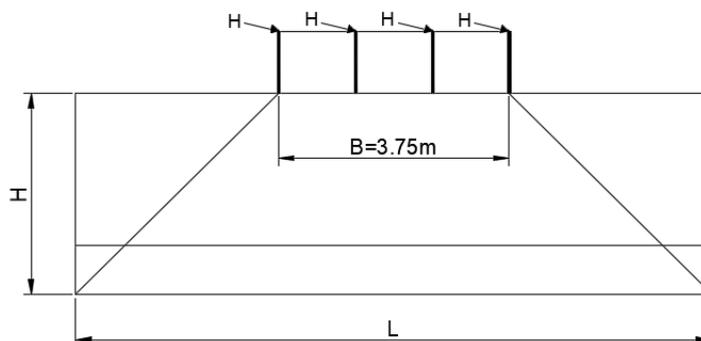
L’azione derivante dal momento plastico della barriera può essere determinata considerando che la massima sollecitazione che tale sezione può trasmettere al muro di sostegno è quella che determina la formazione della prima cerniera plastica. Essa si forma con sufficiente approssimazione in corrispondenza dell’irrigidimento della barriera ipotizzato ad un’altezza di 20cm dalla base del paletto. Pertanto, considerando che la forza d’urto è applicata ad una quota  $d = 1,00$ m dal piano viabile, la distanza  $b_f$  tra la cerniera plastica e il punto di applicazione della forza è pari a 0.8m.

La forza d’urto associata alla formazione della prima cerniera plastica è quindi pari a:

$$H_{urto} = \frac{M_{ampl}}{b_f} = \frac{63.62}{0.8} = 79.53 \text{ KN}$$

Dove  $M_{ampl}$  è il momento plastico amplificato per un coefficiente di sicurezza pari a 1.5

In accordo con gli schemi statici forniti dalle NTC2018, si considera che tale azione d’urto sia esercitata singolarmente su 4 paletti consecutivi posti ad un interasse di 1.25m, pertanto lo sviluppo lineare di barriera coinvolta dall’azione d’urto è pari a 3.75m.



**Figura 12: schema di ridistribuzione del carico d'urto**

Per tener conto della ridistribuzione dell'azione d'urto lungo l'altezza del muro di sostegno, essa è schematizzata come un carico distribuito ottenuto dividendo la forza d'urto totale agente sui 4 paletti per la lunghezza d'azione del concio di muro L secondo la seguente espressione:

$$H_{urto,distr} = \frac{4 \cdot H_{urto}}{L}$$

A tale carico orizzontale occorre aggiungere il momento flettente distribuito generato dal trasporto dell'azione d'urto orizzontale dalla sommità della barriera alla sommità del muro di sostegno, pari a:

$$M_{urto} = H_{urto,distr} \cdot d$$

L'azione d'urto viene considerata esclusivamente per il muro tipologico 02 avente una fondazione diretta. Si riporta in seguito la tabella contenente le sollecitazioni dovute all'urto sul muro tipologico 02.

	$L_{,diff}$	$H_{,urto, distr}$	$M_{, urto,distr}$
	[m]	[KN/m]	[KNm/m]
<b>TIP. 02</b>	10.11	31.46	31.46

**Tabella 22: valori del carico distribuito e del momento dovuti all'urto in testa al muro**

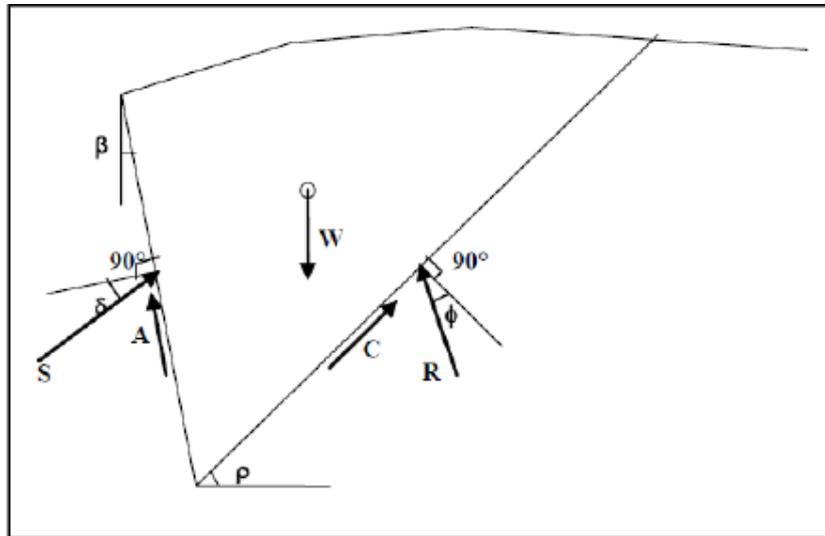
Per le verifiche strutturali e geotecniche, i coefficienti di amplificazione dei carichi ( $\gamma_A$ ) e i coefficienti riduttivi ( $\gamma_M$ ) sono tutti unitari mentre i coefficienti riduttivi sulle resistenze sono quelli previsti dalle verifiche strutturali e geotecniche in funzione dello stato limite considerato.

## 7.5 Spinte del terreno in fase statica

Le spinte esercitate dal terrapieno e dagli eventuali carichi presenti su di esso sono state valutate con il metodo di Culmann.

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare

situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente.



*Figura 13: schema metodo di Culmann per calcolo della spinta*

Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea. I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione  $\rho$  rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;

si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio del terreno tenendo conto anche dell'eventuale presenza della falda (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);

dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima. La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno. Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Il metodo, per come è stato descritto, non permette di ricavare il diagramma delle pressioni agente sulla parete (e quindi le sollecitazioni lungo la parete) e inoltre risulta di difficile determinazione il punto di applicazione della spinta.

Nell'ambito dello specifico Software utilizzato, di cui al §10 sono riportati gli estremi, il procedimento è stato implementato suddividendo l'altezza della parete in tanti tratti di ampiezza  $dz$ , al fine di ricavare l'andamento delle pressioni lungo l'altezza del muro; in corrispondenza di ogni ordinata  $z_i$  si trova il cuneo di rottura e la spinta  $S_i$  ottenendo la distribuzione della spinta  $S(z)$  lungo l'altezza della parete.

Nota la distribuzione delle spinte lungo l'altezza della parete, la pressione ad una generica profondità  $z$ , rispetto alla sommità della parete, è espressa da:

$$\sigma(z) = \frac{dS}{dz}$$

Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta. Inoltre dal diagramma delle pressioni è facile ricavare l'andamento delle sollecitazioni lungo la parete, con gli usuali metodi della scienza delle costruzioni.

**Per l'attrito paramento – terreno si utilizza il valore  $\delta = 2/3\varphi'$**  mentre, per quanto riguarda l'attrito fondazione muro – terreno, in funzione dell'angolo d'attrito del terreno, si sono assunti i seguenti valori:

per  $\varphi < 30^\circ$   $\delta = \text{tg } \varphi'$ ;

per  $\varphi > 35^\circ$   $\delta = 0.85 \text{ tg } \varphi'$ ;

per  $30^\circ \leq \varphi \leq 35^\circ$   $\delta$  si ricava per interpolazione lineare

Infine, l'adesione  $c_a$  terra-opera sarà considerata nulla.

**Nel caso di muri su pali, la spinta, in condizioni statiche, è stata calcolata facendo riferimento alla condizione di spinta a riposo del terreno.**

## 7.6 Spinta del terreno in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento:

$$\gamma_a = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

dove  $\gamma_{\text{sat}}$  è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e  $\gamma_w$  è il peso di volume dell'acqua.

Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

Nel caso in esame, il regime di spinta non è influenzato dalla presenza della falda.

## 7.7 Coefficienti sismici

Il §7.11.6.2.1 delle NTC 2018, precisa che l'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche, può essere eseguite mediante i metodi pseudo-statici o i metodi degli spostamenti. Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\text{max}}}{g} \quad k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

con:

$g$  accelerazione di gravità;

$a_{\text{max}} = S_s S_T a_g$  accelerazione massima attesa sul suolo di riferimento ( $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido,  $S_s$  e  $S_T$  sono i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, come già definiti nell'ambito del precedente paragrafo §40);

$\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito assume il valore di 0.38 nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV) e 0.47 nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Nel caso di muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno (MURI SU PALI), nelle analisi eseguite con il metodo pseudostatico, il coefficiente  $\beta_m$  può essere assunto di valore unitario come definito al paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC 2018.

## 7.8 Spinte del terreno in fase sismica

Per muri indeformabili, tra i quali rientrano gli scatolari e quelli aventi pareti adeguatamente contrastate, le spinte del terreno in fase sismica, devono essere determinate mediante la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza  $H$  è pari a:  $\Delta SE = Kh \cdot \gamma \cdot H^2$ .

L'effetto del sisma è ottenuto applicando un incremento di spinta del terreno valutato secondo la teoria di Wood, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera. Utilizzando la formulazione seguente:

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \gamma \cdot H^2 = E$$

Dove  $\gamma$  rappresenta il peso del volume di terreno che interagisce con l'opera,  $H$  rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso),  $S$  è il coeff. di amplificazione locale mentre  $a_g$  è la PGA.

In condizioni sismiche si adotta la formulazione di Culmann come già illustrata al precedente paragrafo, inserendo nell'equazione risolutiva anche la forza di inerzia del cuneo di spinta. In accordo con quanto definito al paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC 2018 nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro. Pertanto nel caso nel muro tipologico 02 che presenta una fondazione superficiale si considera un  $\beta_m$  pari a 0.38 e una distribuzione triangolare dell'incremento di spinta mentre nel caso di muro su pali si considera una distribuzione rettangolare dell'incremento di spinta considerando **l'attingimento delle condizioni di spinta attiva.**

## 7.9 Combinazioni di carico

Si riporta nel seguito il riepilogo delle combinazioni di carico esaminate per l'analisi e la verifica di un muro di sostegno su pali.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

Simbologia adottata

$\gamma$       Coefficiente di partecipazione della condizione

$\psi$       Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.50	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.00	0.75	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - SLEQ

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n°7 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

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

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Nel caso del muro tipologico 02 che presenta una fondazione diretta, le combinazioni di carico risultano essere le seguenti. Per le combinazioni d'urto il coefficiente di partecipazione dei carichi stradali è stato posto pari a 0.

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.50	--	Sfavorevole
Carichi stradali	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

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

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	g	Y	Effetto
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.30	--	Sfavorevole
Carichi stradali	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.50	--	Sfavorevole
Carichi stradali	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - EQU (A1-M1-R3) H + V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - EQU (A1-M1-R3) H - V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - SLER

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole
Carichi stradali	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - SLEF

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole
Carichi stradali	1.00	0.75	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - SLEQ

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - STR (A1-M1-R3)\_URTO

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole
urto	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - GEO (A2-M2-R2)\_URTO

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Pavimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole

Condizione	g	Y	Effetto
urto	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 15 - EQU (A1-M1-R3)\_ URTO

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
avimentazione/marciapiede	1.00	--	Sfavorevole
urto	1.00	1.00	Sfavorevole

## 8 CODICI DI CALCOLO

Tutte le Analisi e Verifiche esposte nel presente documento sono state effettuate con l'Ausilio dei seguenti Software di calcolo:

- "MAX - ver 15" (Analisi e Calcolo Muri di Sostegno) prodotto e distribuito dalla Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS) specifico da licenza n° AIU5041GP intestata a PROGIN SPA - CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI);
- "PresFle+ ver 5.15" (Verifiche di sezioni in cemento armato) prodotto e distribuito dalla Concrete srl, identificato nello specifico da licenza n° 4552054 intestata a PROGIN SPA - CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI);
- "Fogli di Calcolo Excel Autoprodotti".

### 8.1 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

### 8.2 Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

### 8.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di

considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

## 9 ANALISI E VERIFICHE DEL MURO DI SOSTEGNO

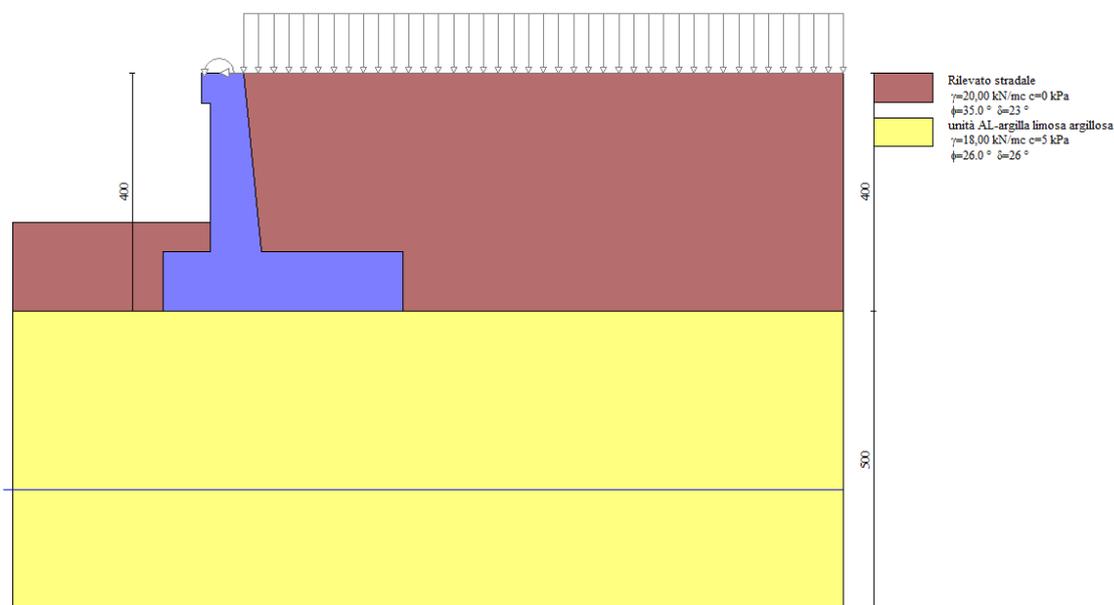
Di seguito si riportano i risultati delle analisi del MURO DI SOSTEGNO COMPL.INT. (TRATTO 1) DA pk 0+200 a 0+297, relativamente ai seguenti tipologici di calcolo:

tipologico	fondazione	H <sub>paramento</sub>	H <sub>fondazione</sub>	D <sub>pali</sub>	L <sub>pali</sub>
		[m]	[m]	[m]	[m]
02	diretta	3	1	-	-
03	2 pali	4	1	0.8	20

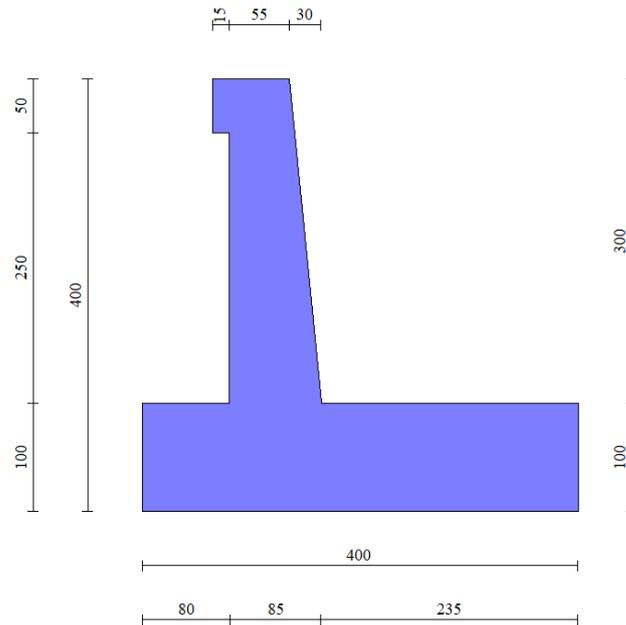
*Tabella 23: caratteristiche geometriche muri di sostegno*

### 9.1 MURO TIPOLOGICO 02 (H=3m-fondazione diretta)

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica del modello di calcolo adottato per il muro tipologico 02 avente un'altezza del paramento pari a 3m.



*Figura 14: modello di calcolo muro tipologico 02*



**Figura 15: Geometria del muro di sostegno: sezione trasversale**

### 9.1.1 Risultati e Sollecitazioni

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		2,098	2,908	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1,803	2,722	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1,721	2,847	--	--	--	--
4	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1,804	--	--
5	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	2,135	--	--
6	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	2,080	--	--
7	EQU (A1-M1-R3)		--	--	6,292	--	--	--
8	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	4,304	--	--	--
9	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	3,221	--	--	--

**Figura 16: Fattori di sicurezza verifiche statiche e sismiche**

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		2,338	3,602	--	--	--	--
2	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	3,105	--	--
3	EQU (A1-M1-R3)		--	--	3,599	--	--	--

**Figura 17: Fattori di sicurezza- urto**

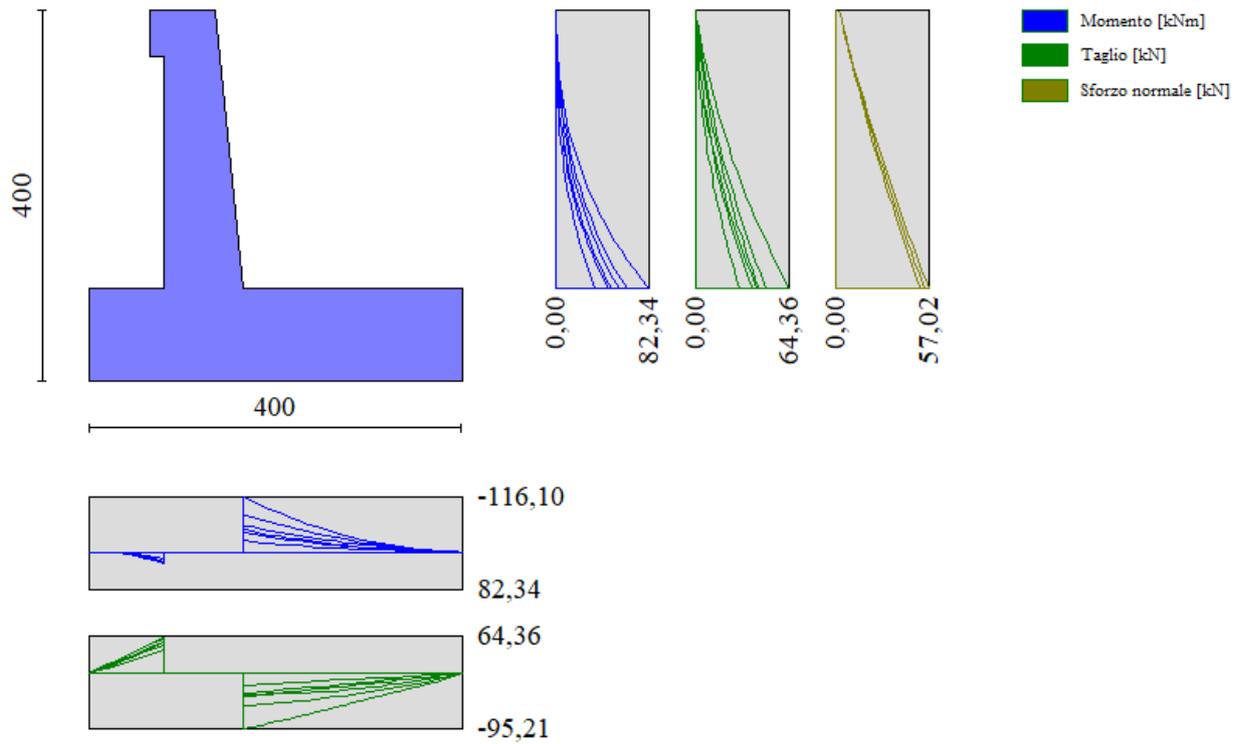


Figura 18: Involuppo diagrammi sollecitazioni- condizioni statiche e sismiche

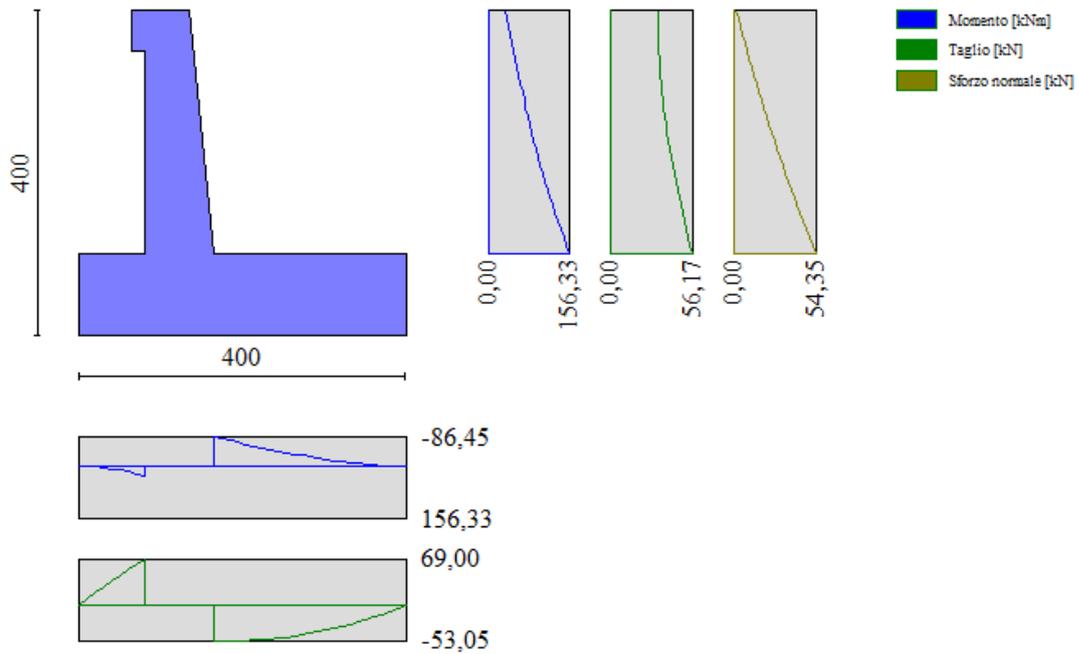


Figura 19: Involuppo diagrammi sollecitazioni – condizione urto

### 9.1.2 Armatura paramento e piastra di fondazione

Di seguito si riportano le armature di progetto previste per le sezioni di calcolo del paramento e della piastra di fondazione. Sia le verifiche a pressoflessione che a taglio sono state eseguite manualmente attraverso l’ausilio di fogli di calcolo strutturati sulla base delle NTC2018 e mediante software di calcolo PressFle sulla base dell’involuppo dei diagrammi delle sollecitazioni.

**Tabella 24: armature di progetto paramento e piastra di fondazione**

Armatura a flessione			Armatura a flessione		
Elemento	Lato monte	Lato valle	Elemento	Lato inferiore	Lato superiore
Paramento	Φ16/20	Φ12/20	Piastra fondazione	Φ16/20	Φ16/20

Le verifiche a taglio sono condotte con riferimento ad elementi in c.a. non armati a taglio, tuttavia si prevedono ganci Φ10/40x40 per legare le armature, ripartitori Φ12 ed una opportuna staffatura per la mensola di testa.

Armatura a taglio		
Legature		
Elemento	staffe	Legature
mensola di testa	Φ12/20	Φ12

### 9.1.3 Verifiche allo SLU

Si riportano i risultati delle verifiche a pressoflessione e taglio per la sezione di base del paramento e per la fondazione. Le verifiche a taglio sono condotte con riferimento ad elementi in c.a. non armati a taglio, tuttavia si prevedono ganci Φ10/40x40 per legare le armature, ripartitori Φ12/20cm ed una opportuna staffatura per la mensola di testa.

GEOMETRIA				VERIFICA A PRESSOFLESSIONE						
Elemento		b	h	M <sub>Ed</sub>	N <sub>Ed,min</sub>	Armature	c	d	M <sub>Rd</sub>	FS
		[mm]	[mm]	[kNm]	[kN]		[mm]	[mm]	[kNm]	[-]
Paramento	monte	1000	850	156,3	56,9	φ16/20	50	800	349,6	2,24
	valle					φ12/20			50	
Fondazione	Superiore	1000	1000	116,1		φ16/20	50	950	360,9	3,11
	Inferiore					φ16/20			50	

Elemento	Geometrie				Armatura long. tesa			Sollecitazioni di Calcolo		TAGLIO RESISTENTE ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO							
	b <sub>w</sub> (mm)	H (mm)	c (mm)	d (mm)	n	Ø	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	N <sub>sd</sub> (KN)	V <sub>sd</sub> (KN)	σ <sub>cp</sub> (Mpa)	ρ <sub>t</sub>	k	f <sub>cK</sub> (Mpa)	v <sub>min</sub>	V <sub>Rdmin</sub> (KN)	V <sub>Ret</sub> (KN)	F.S.
Paramento	1000	850	50	800	5	16	1004,8	0	64,36	0	0,001	1,50	33,2	0,37	296,39	231,78	3,60
Fondazione	1000	1000	50	950	5	16	1004,8	0	95,21	0	0,001	1,46	33,2	0,36	337,57	252,78	2,65

### 9.1.4 Verifiche allo SLE

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio si è provveduto a verificare che le tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio siano inferiori ai valori limite riportati nella seguente tabella:

#### **CALCESTRUZZO ELEVAZIONE/FONDAZIONE C32/40**

$\sigma_{c,max,Q.P.} = 0,45 f_{cK}$	14.4	MPa	(combinazione di carico Quasi Permanente)
$\sigma_{c,max,R.} = 0,60 f_{cK}$	19.2	MPa	(combinazione di carico Rara)

*Tabella 25: limiti tensione calcestruzzo*

#### **ACCIAIO**

$\sigma_{f,max} = 0,80 f_{yK}$	360	MPa	(combinazione di carico Rara)
--------------------------------	-----	-----	-------------------------------

*Tabella 26: limiti tensione acciaio*

nonché di verificare che l'apertura delle fessure sia inferiore al valore limite di  $w_1=0,2\text{mm}$  (Classe di esposizione XC4 ed armature poco sensibili).

Pertanto dovrà risultare:

Combinazione Quasi permanente :  $w \leq 0,2\text{mm}$

Combinazione Frequente :  $w \leq 0,3\text{mm}$

Verifica delle tensioni	$I_p$	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	CLS 32/40			ACCIAIO B450C		
				$\sigma_c$	$\sigma_{c,max} = 0,6 f_{ck}$	FS	$\sigma_f$	$\sigma_{f,max} = 0,8 f_{yk}$	FS
				[-]	[kN]	[kNm]	[Mpa]	[Mpa]	[-]
combinazione rara	paramento	54,4	62,6	1,7	19,2	11,43	55,6	360,0	6,48
	fondazione	-	45,9	1,0	19,2	20,21	14,3	360,0	25,25

Verifica delle tensioni	$I_p$	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	CLS 32/40		
				$\sigma_c$	$\sigma_{c,max} = 0,45 f_{ck}$	FS
				[-]	[kN]	[kNm]
Combinazione quasi permanente	paramento	54,4	30,0	0,9	14,4	16,74
	fondazione	0,0	40,6	0,8	14,4	17,14

Le verifiche risultano essere soddisfatte. La sezione inoltre risulta essere non fessurata.

### 9.1.5 Verifiche locali della mensola per azioni d'urto

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti dalle verifiche locali dei cordoli che ospitano le barriere di sicurezza. Il carico di progetto come definito al paragrafo 7.4. è costituito dalla forza orizzontale di plasticizzazione della barriera pari a  $F=79,5\text{kN}$ , applicata alla quota di 1,0 m sopra il piano di marcia. e 100 mm sotto la sommità della barriera.

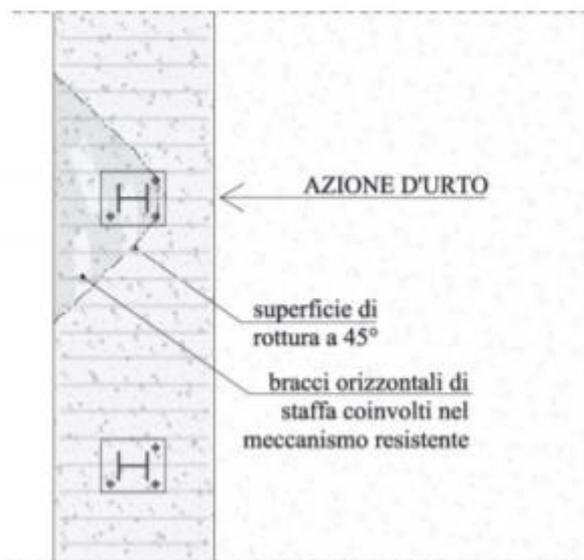
Nel caso in esame si assume che la forza agisca ad una distanza  $d=1,00\text{m}$  dalla base della barriera.

La mensola presenta una larghezza pari a 0,7m e uno spessore 0,5m. Si dispone nella mensola una staffatura di  $\Phi 12/20$ .

La funzione di tali staffe è duplice:

- **Equilibrare l'azione orizzontale F;**
- **Equilibrare la trazione dei tirafondi della barriera nel meccanismo di pull out.**

Per il punto 1. Il cono di rottura che determina il numero di staffe resistenti si determina secondo quanto riportato nella figura seguente, ipotizzando una diffusione a 45° della sollecitazione agente a partire dalla posizione dei tirafondi tesi. Si considera una larghezza della piastra di 0.40m posizionata a 0.10m dal bordo del muro. La forza orizzontale F è equilibrata dalle barre  $\Phi 12/20$  che sono sempre presenti all'interno del cono di rottura evidenziato nella seguente figura.



*Figura 20: cono di diffusione verifica 1*

In dettaglio la forza orizzontale rappresenta l'azione di urto, che è pari a  $F=79.5$  kN.

Le barre  $\Phi 12/20$  oppongono una resistenza a tale forza espressa dalla seguente relazione:

$$F_R = n \cdot \frac{A_s f_{yk}}{\gamma_d}$$

Dove  $A_s$  è l'area della staffa e  $n$  è il numero di bracci presenti nel cono di diffusione.

Dove  $n$  è il numero dei tondini compresi nel cono di rottura e  $A_s$  è l'area del tondino.

Nel caso in esame è stata assunta, in maniera cautelativa, come base del cono di rottura la larghezza della piastra pari a 0.3m che permette di individuare in una larghezza collaborante di 0.9m, 4 ferri e 8 bracci.

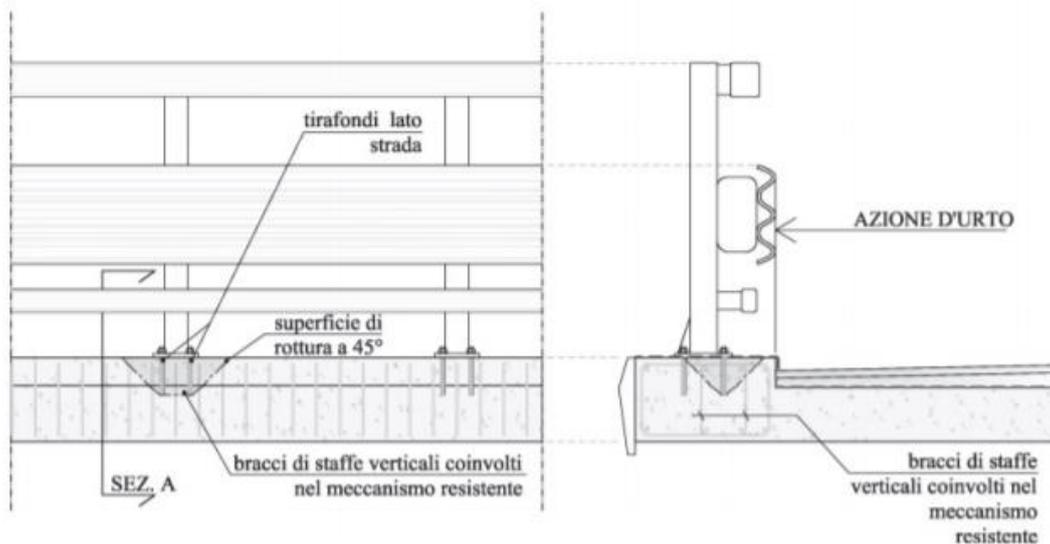
Conseguentemente si ha:

<b>verifica delle staffe orizzontali</b>				
<b>Larghezza collaborante</b>	<b>n bracci orizzontali</b>	<b>Fsd</b>	<b>Frd</b>	<b>FS</b>
<b>[m]</b>	<b>[-]</b>	<b>[KN]</b>	<b>[KN]</b>	<b>[-]</b>
0.9	8	79.53	306.6	4.45

*Tabella 27: verifica 1 della mensola*

La verifica risulta soddisfatta.

Per il punto 2. Il cono di rottura che determina il numero di staffe e quindi di bracci verticali resistenti si determina secondo quanto riportato nella seguente figura, ipotizzando una diffusione a 45° a partire dall’interasse dei tirafondi tesi. La trazione agente nei tirafondi è equilibrata dai bracci verticali delle staffe e da eventuali legature.



**Figura 21: cono di diffusione verifica 2**

Ipotizzando un braccio di leva delle forze interne della piastra di base della barriera pari a  $l = 0.22$  m e un’altezza  $h$  della barriera sopra tale piastra di 1 m, si stima  $T_d$  come:

$$T_d = \frac{N \cdot h}{l}$$

Si dispongono delle staffe  $\Phi 12/20$ . Ipotizzando una lunghezza dei tirafondi di almeno 19 cm (nonché l’interasse tra i due tirafondi tesi di 0.22 m), risulta una lunghezza di diffusione trasversale pari a 0.38m e longitudinale di 0.6m. I bracci verticali compresi nel cono di diffusione sono 3.

Nel calcolare la resistenza delle staffe verticali si considera anche il contributo dei ferri longitudinali  $\Phi 16/20$  del paramento che sono accoppiati alle staffe. Pertanto si calcola la trazione resistente pari a:

$$T_r = n \cdot A_s \cdot f_{yd}$$

<b>verifica delle staffe verticali</b>					
$L_{\text{trasp}}$	$B_{\text{long}}$	$n$	$T_d$	$T_r$	FS
[m]	[m]	[m]	[KN]	[KN]	[-]
0,38	0,6	3	361,48	368,80	1,02

## 9.2 MURO TIPOLOGICO 03 su 2 pali ( $H_{\text{paramento}}=4\text{m}$ )

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica del modello di calcolo adottato per il muro tipologico ad 03 avente un'altezza del paramento pari a 4m. Esso è fondato su pali di diametro  $D=800\text{m}$  e di lunghezza  $L=20\text{m}$ .

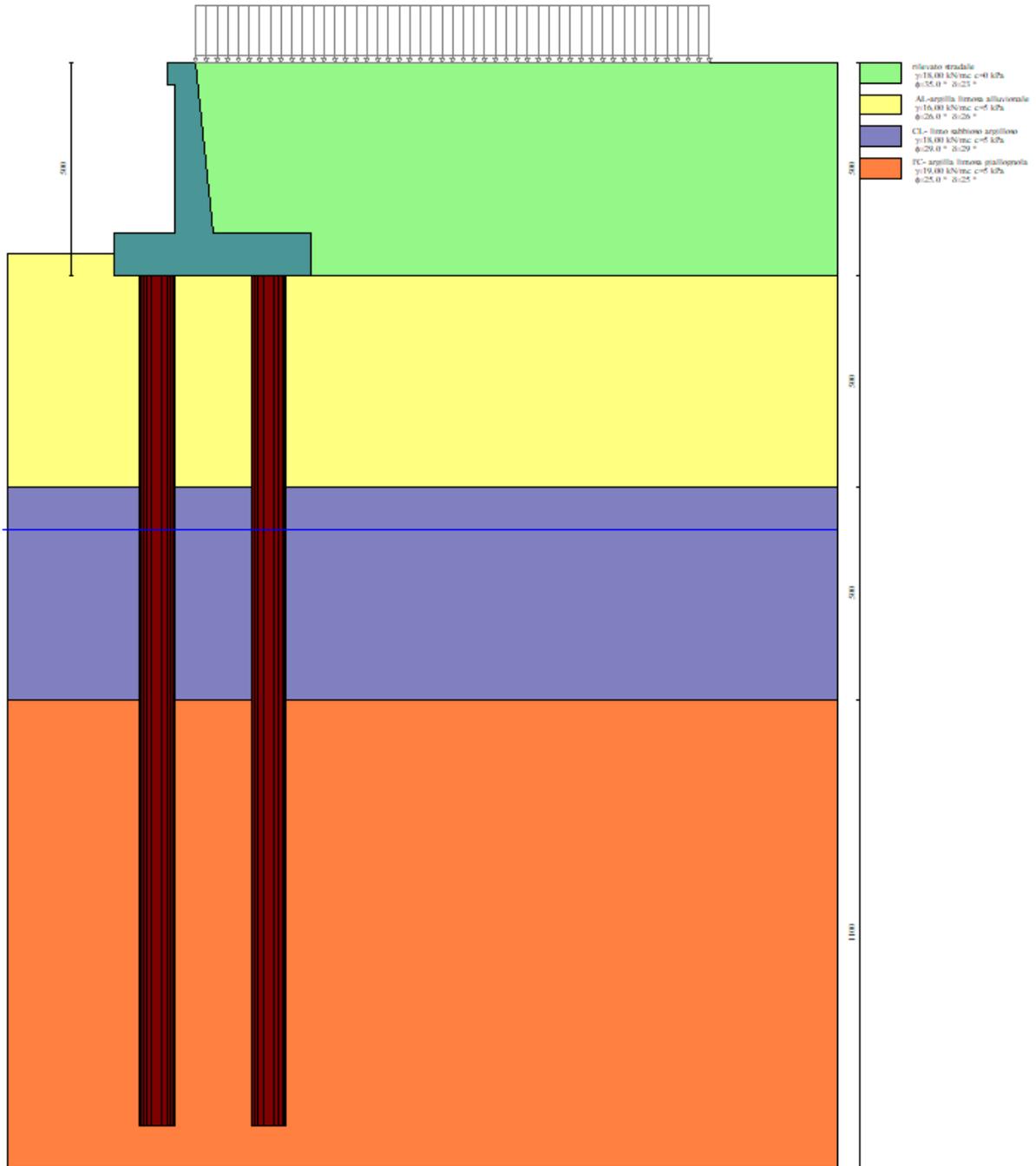
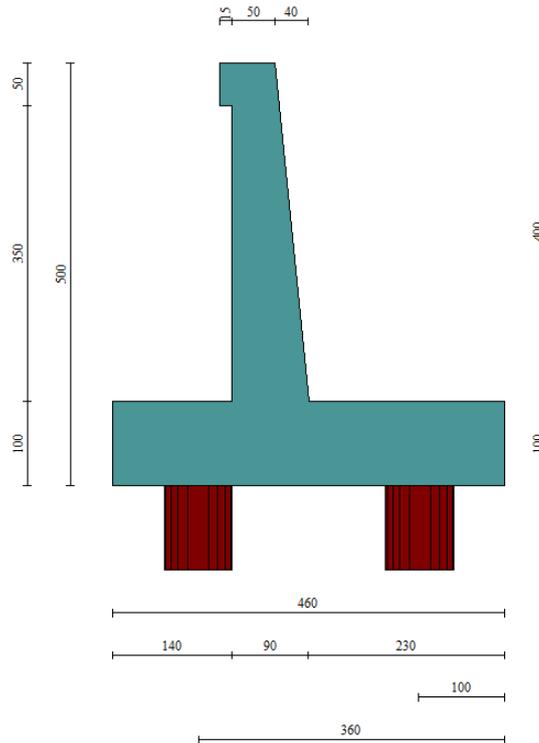
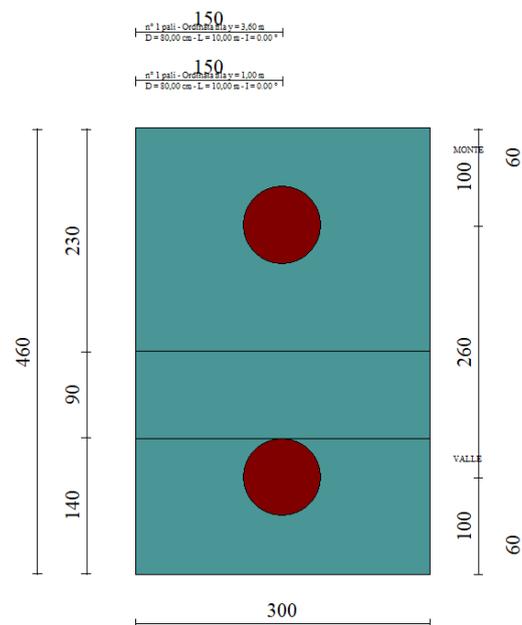


Figura 22: modello di calcolo muro tipologico 03



**Figura 23: Geometria del muro di sostegno: sezione trasversale**



**Figura 24: pianta fondazione su pali**

Si fa notare che, come specificato al paragrafo seguente, le sollecitazioni a testa palo non dipendono dalla lunghezza dei pali o dal terreno di fondazione. Pertanto, le caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione usate nel modello non sono rilevanti ai fini della determinazione delle sollecitazioni in testa ai pali. Il dimensionamento dei pali di fondazione

viene eseguito infatti sulla base degli scarichi da questo ottenuti e di un confronto degli stessi con la curva di portanza, costruita tenendo conto dell'effettiva stratigrafica di fondazione.

### 9.2.1 Sollecitazioni Paramento

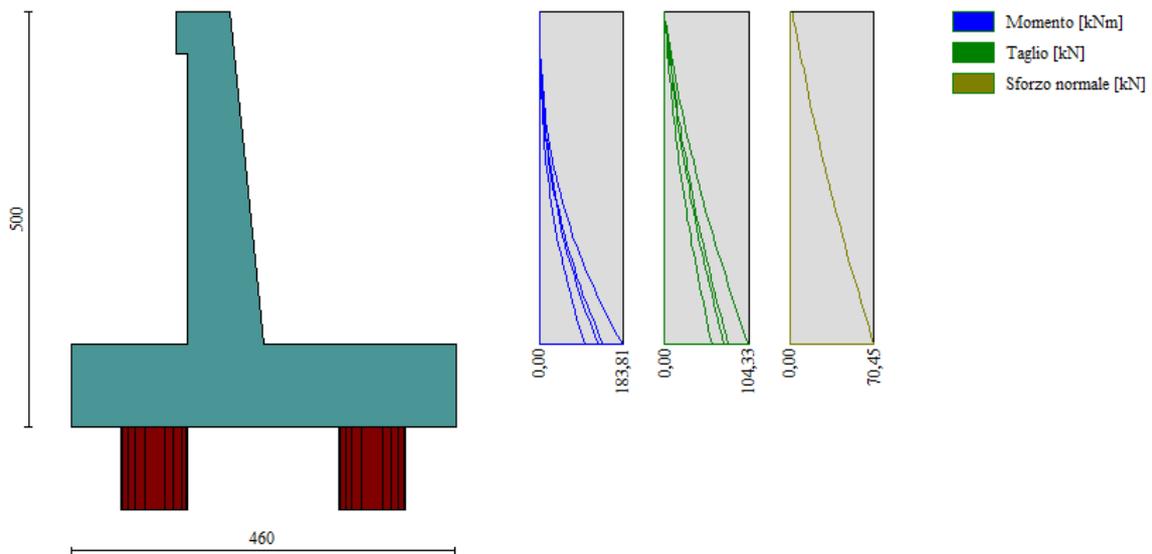


Figura 25 – Inviluppo delle sollecitazioni sul paramento del muro di sostegno in condizioni statiche

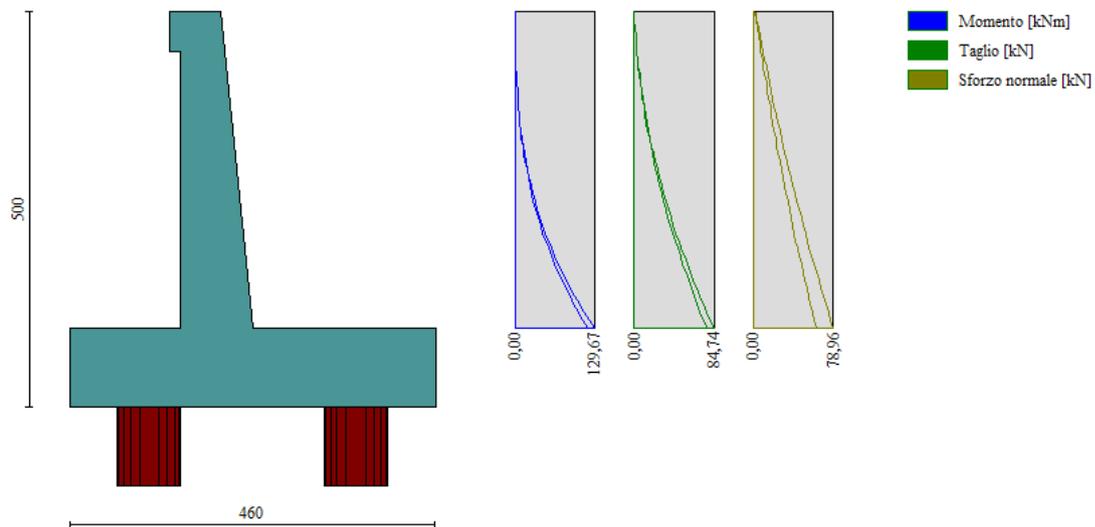


Figura 26- Inviluppo delle sollecitazioni sul paramento del muro di sostegno in condizioni sismiche

### 9.2.2 Verifiche strutturali paramento e piastra fondazione

Elemento	STATICA				SISMICA				Max			
	MY, Ed	MX, Ed	Ned	Ted	MY, Ed	MX, Ed	Ned	Ted	MY, Ed	MX, Ed	NEd,min	TEd,min

	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
<b>Paramento</b>	183,81	-	70,45	104,33	122,1	-	78,96	80,32	183,81	-	78,96	104,33
<b>Fondazione</b>	276,24	311,45	-	771,79	221,51	218,59	-	895,42	276,24	311,45	0,00	895,42

Di seguito si riportano le armature di progetto previste per le sezioni di calcolo del paramento e della piastra di fondazione.

**Tabella 28: Armature di progetto paramento e piastra fondazione**

Elemento	Armatura a flessione	
	Lato monte	Lato valle
Paramento	Φ16/20	Φ12/20

Elemento	Armatura a flessione	
	Lato inferiore	Lato superiore
Piastra fondazione	Φ18/20	Φ18/20

Si dispongono ripartitori in fondazione Φ18/20 e nel paramento Φ12/20.

GEOMETRIA				VERIFICA A PRESSOFLESSIONE							
Elemento		b	h	M <sub>ed,y</sub>	M <sub>ed,x</sub>	N <sub>Ed,min</sub>	Armature	c	d	M <sub>Rd</sub>	FS
		[mm]	[mm]	[kNm]	[kNm]	[kN]		[mm]	[mm]	[kNm]	[-]
Paramento	monte	1000	900	183,8	0,0	79,0	φ16/20	50	850	404,5	2,20
	valle						φ12/20				
Fondazione	Superiore	1000	1000	276,2	-		φ18/20	50	950	454,2	1,64
	Inferiore						φ18/20				
Fondazione (ripartitori)	Superiore	1000	1000		311,5		φ18/20	50	950	454,2	1,46
	Inferiore						φ18/20				

Per il paramento le verifiche a taglio sono condotte con riferimento ad elementi in c.a. non armati a taglio, tuttavia si prevedono **ganci Φ12/40x40**.

Si riportano le verifiche a pressoflessione e a taglio:

Elemento	Geometrie				Armatura long. tesa			Sollecitazioni di Calcolo		TAGLIO RESISTENTE ELEMENTI SENZA ARMATURA A TAGLIO							
	b <sub>w</sub> (mm)	H (mm)	c (mm)	d (mm)	n	Ø	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	N <sub>sd</sub> (KN)	V <sub>sd</sub> (KN)	σ <sub>ep</sub> (Mpa)	ρ <sub>t</sub>	k	f <sub>ck</sub> (Mpa)	v <sub>min</sub>	V <sub>Rdmin</sub> (KN)	V <sub>Rct</sub> (KN)	F.S.
Paramento	1000	900	50	850	5	16	1004,8	0	104,33	0	0,001	1,49	33,2	0,36	310,23	238,94	2,29
Fondazione	1000	1000	50	950	5	18	1271,7	0	895,42	0	0,001	1,46	33,2	0,36	337,57	273,43	0,31

Per la piastra di fondazione la verifica a taglio risulta essere soddisfatta considerando **staffe Φ12/40x20**.

Elemento	Armature trasversali				Inclinazione Bielle Compresse				Taglio Compressione		Taglio Trazione		risultati	
	n <sub>b</sub>	Ø	p (mm)	A <sub>sw</sub> (mm <sup>2</sup> )	α°	θ°	ctg θ	σ <sub>cp</sub> (Mpa)	αc	f' <sub>cd</sub> (Mpa)	V <sub>Rcd</sub> (KN)	V <sub>Rsd</sub> (KN)	V <sub>rd</sub> (KN)	F.S.
Fondazione	2,5	12	200	282,6	90	21,8	2,5	0	1	18,81	2773,34	1181,84	1181,84	1,32

Si riportano le verifiche tensionali e a fessurazione del paramento:

Verifica delle tensioni	I <sub>p</sub> [-]	CLS 32/40							ACCIAIO B450C						
		N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>ed,y</sub> [kNm]	M <sub>ed,x</sub> [kNm]	σ <sub>c,y</sub> [Mpa]	σ <sub>c,x</sub> [Mpa]	σ <sub>c,max</sub> = 0,6 f <sub>ck</sub> [Mpa]	FS, y [-]	FS, x [-]	σ <sub>f,y</sub> [Mpa]	σ <sub>f,x</sub> [Mpa]	σ <sub>f,max</sub> = 0,8 f <sub>yk</sub> [Mpa]	FS, y [-]	FS, x [-]	
combinazione rara	Param.	70,5	140,6	-	2,6	-	19,2	7,53	-	97,3	-	360,0	3,70	-	

Fond.	-	256,2	297,4	4,8	5,5	19,2	4,03	3,47	223,0	259,0	360,0	1,61	1,39
-------	---	-------	-------	-----	-----	------	------	------	-------	-------	-------	------	------

Verifica delle tensioni	CLS 32/40								
	I <sub>p</sub>	N <sub>Ed</sub>	M <sub>ed,y</sub>	M <sub>ed,x</sub>	σ <sub>c,y</sub>	σ <sub>c,x</sub>	σ <sub>c,max</sub> = 0,45 f <sub>ck</sub>	FS <sub>y</sub>	FS <sub>x</sub>
	[-]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[-]
Combinazione quasi permanente	paramento	70,5	100,6	-	1,8	-	14,4	8,00	-
	fondazione	0,0	226,5	255,3	4,2	4,8	14,4	3,42	3,03

Dalla verifica a fessurazione emerge che il muro di sostegno non è fessurato.

### 9.2.3 Sollecitazioni in testa ai pali

Le sollecitazioni provenienti dal muro vengono ripartite sui pali restituendo le sollecitazioni nei pali in termini di taglio, momento e sforzo normale.

Gli scarichi sui pali vengono determinati mediante il metodo delle rigidità.

La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi di libertà) ed i pali vengono considerati incernierati a tale piastra.

Lo sforzo normale nei pali è calcolato come segue:

$$N_i = \frac{N_{Ed}}{n}$$

Si fa notare, quindi, che le sollecitazioni a testa palo non dipendono dalla lunghezza dei pali o dal terreno di fondazione.

Le azioni derivanti da questo modello vengono confrontate con le curve di capacità portante dei pali di fondazione.

Mentre le azioni di taglio sono suddivise equamente tra i pali come di seguito riportato:

$$V_i = \frac{V_{Ed}}{n}$$

In definitiva, gli scarichi a testa palo sono pari a quanto di seguito riportato.

Simbologia adottata

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

Cmb	Ip	N	M	T
		[kN]	[kNm]	[kN]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	846,48	0	-206,7
	2	670,37	0	-206,7
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	577,44	0	-280,21
	2	792,49	0	-280,21

3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	401	0	-265,73
	2	688,17	0	-265,73
7 - SLER	1	810,02	0	-157,06
	2	597,21	0	-157,06
8 - SLEF	1	780,95	0	-148,64
	2	578,52	0	-148,64
9 - SLEQ	1	693,75	0	-123,4
	2	522,47	0	-123,4

**Tabella 29: Scarichi in testa ai pali**

Per la valutazione del momento flettente a testa palo si è utilizzata la teoria di Matlock e Reese per la quale il momento agente a quota testa pali è direttamente proporzionale al taglio mediante un coefficiente  $\alpha$  (espresso in metri) “coefficiente di Matlock e Reese”:

$$M_i(V_{Ed}) = \alpha \frac{V_{Ed}}{n}$$

Il coefficiente  $\alpha$  dipende principalmente dalle caratteristiche di rigidità relative palo-terreno e, generalmente, fornisce un valore del momento sollecitante conservativo. Fissato il diametro del palo, D,  $\alpha$  dipende quindi dalla rigidità del terreno.

Nel caso in esame si ha:

PALI D800
$\alpha = 1.86 \text{ m}$

**Tabella 30: parametro  $\alpha$**

Vengono riportate nella tabella che segue le sollecitazioni in testa ai pali.

Combinazione	Ip	V	$\alpha$	M	N
	[-]	[kN]	[m]	[kNm]	[kN]
SLU - STR (A1-M1-R3)	1	206,7	1,860	384,5	846,5
	2	206,7	1,860	384,5	670,4
SLU - STR (A1-M1-R3) H + V	1	280,2	1,860	521,2	577,4
	2	280,2	1,860	521,2	792,5
SLU - STR (A1-M1-R3) H - V	1	265,7	1,860	494,3	401,0
	2	265,7	1,860	494,3	688,2
SLE - Rara	1	157,1	1,860	292,1	810,0
	2	157,1	1,860	292,1	597,2
SLE - Frequente	1	148,6	1,860	276,5	781,0
	2	148,6	1,860	276,5	578,5

SLE - Quasi Permanente	1	123,4	1,860	229,5	693,8
	2	123,4	1,860	229,5	522,5

**Tabella 31: sollecitazioni in testa ai pali**

### 9.2.4 Verifiche strutturali pali

Per i pali di fondazione di diametro D=800mm si prevedono le seguenti armature:

**gabbia 20φ22 e staffa a spirale φ14/20;**

Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento per i pali ad un copriferro di calcolo (asse armature) pari a 8.5cm

#### 9.2.4.1 Verifiche SLU-Pressoflessione

Occorre osservare che la determinazione dell'armatura nei pali di fondazione dipende anche dal soddisfacimento della verifica a carico limite orizzontale (Broms) riportata al paragrafo 9.2.5.2.

Si riporta in seguito la verifica a presso-flessione.

Verifica a pressoflessione	I <sub>p</sub>	M <sub>Ed</sub>	N <sub>Ed</sub>	M <sub>Rd</sub>	FS
	[-]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[-]
SLU - STR (A1-M1-R3)	1	384,5	846,5	949,1	2,47
	2	384,5	670,4	923,4	2,40
SLU - STR (A1-M1-R3) H + V	1	521,2	577,4	909,1	1,74
	2	521,2	792,5	941,5	1,81
SLU - STR (A1-M1-R3) H - V	1	494,3	401,0	880,4	1,78
	2	494,3	688,2	926,1	1,87

**Tabella 32: Verifica a pressoflessione**

#### 9.2.4.2 Taglio

Le verifiche a taglio sono state condotte con riferimento ad elementi in c.a. armati a taglio, avendo assunto come inclinazione del puntone compresso  $\theta = 45^\circ$ .

Verifica a taglio ( $\theta = 45^\circ$ )	I <sub>p</sub>	N <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rd</sub> = min (V <sub>Rsd</sub> ; V <sub>Rcd</sub> )	FS
	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
SLU - STR (A1-M1-R3)	1	846,5	206,7	352,4	1790,1	352,4	1,70
	2	670,4	206,7	352,4	1790,1	352,4	1,70
SLU - STR (A1-M1-R3) H + V	1	577,4	280,2	352,4	1790,1	352,4	1,26
	2	792,5	280,2	352,4	1790,1	352,4	1,26
SLU - STR (A1-M1-R3) H - V	1	401,0	265,7	352,4	1790,1	352,4	1,33
	2	688,2	265,7	352,4	1790,1	352,4	1,33

**Tabella 33: verifica a taglio**

#### 9.2.4.3 Verifiche SLE

Si riportano le verifiche tensionali e a fessurazione realizzate mediante il Software PressFle.

Verifica delle tensioni	CLS 25/30				ACCIAIO B450C			
	N <sub>Ed</sub>	M <sub>Ed</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>c,max</sub> = 0,6 f <sub>ck</sub>	FS	σ <sub>f</sub>	σ <sub>f,max</sub> = 0,8 f <sub>yk</sub>	FS
	[kN]	[kNm]	[Mpa]	[Mpa]	[-]	[Mpa]	[Mpa]	[-]
SLE - Rara	810,0	238,7	7,5	15,0	1,99	40,9	360,0	8,80

Verifica delle tensioni	CLS C25/30				FS
	N <sub>Ed</sub>	M <sub>Ed</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>c,max</sub> = 0,45 f <sub>ck</sub>	
	[kN]	[kNm]	[Mpa]	[Mpa]	
SLE - Quasi Permanente	522,5	188	6,2	11,3	1,82

*Tabella 34: verifica limitazione tensioni*

Verifica a fessurazione	N <sub>Ed</sub>	M <sub>Ed</sub>	w <sub>f</sub>	w <sub>1</sub>	FS
	[kN]	[kNm]	[mm]	[mm]	[-]
SLE - Quasi Permanente	522,5	187,6	0,027	0,200	7,55
SLE - Frequente	781,0	225,9	0,024	0,300	12,50

*Figura 27: verifica a fessurazione*

## 9.2.5 Verifiche geotecniche pali

### 9.2.5.1 Verifica di capacità portante nei confronti dei carichi verticali

La determinazione della lunghezza dei pali è il risultato della verifica di capacità portante che si riporta nella seguente tabella:

*Tabella 35: Verifica di capacità portante nei confronti dei carichi verticali- SLU*

Capacità portante nei confronti dei carichi verticali di compressione - SLU							
L <sub>p</sub>	Q <sub>II</sub>	Q <sub>bl</sub>	W <sub>p</sub>	Q <sub>0</sub>	Q <sub>d</sub>	N <sub>max</sub>	FS
[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]
0	0	81	0	81	35	846	0,04
1	11	122	3	131	56	846	0,07
1	27	163	5	185	80	846	0,09
2	47	181	8	220	95	846	0,11
2	69	199	10	258	112	846	0,13
3	100	242	13	329	143	846	0,17
3	134	284	15	403	177	846	0,21
4	172	327	18	481	212	846	0,25
4	211	369	20	561	248	846	0,29
5	252	412	23	641	285	846	0,34
5	292	416	25	683	305	846	0,36
6	332	421	28	725	325	846	0,38
6	372	425	30	767	345	846	0,41
7	413	430	33	810	365	846	0,43
7	453	434	35	852	385	846	0,45
8	493	439	38	894	405	846	0,48
8	533	443	40	936	425	846	0,50
9	573	448	43	979	445	846	0,53
9	614	452	45	1021	465	846	0,55
10	654	457	48	1063	484	846	0,57

10	694	461	50	1105	504	846	0,60
11	734	466	53	1147	524	846	0,62
11	774	470	55	1190	544	846	0,64
12	815	475	58	1232	564	846	0,67
12	855	480	60	1274	584	846	0,69
13	895	484	63	1316	604	846	0,71
13	936	489	65	1359	625	846	0,74
14	978	493	68	1403	646	846	0,76
14	1021	498	70	1449	667	846	0,79
15	1066	502	73	1495	689	846	0,81
15	1113	507	75	1544	713	846	0,84
16	1167	538	78	1628	752	846	0,89
16	1222	570	80	1712	791	846	0,93
17	1278	602	83	1796	831	846	0,98
17	1333	633	85	1881	870	846	1,03
18	1388	665	88	1965	910	846	1,08
18	1444	670	90	2023	937	846	1,11
19	1499	674	93	2080	965	846	1,14
19	1555	679	96	2138	993	846	1,17
20	1612	683	98	2197	1021	846	1,21
<b>20</b>	<b>1670</b>	<b>688</b>	<b>101</b>	<b>2258</b>	<b>1051</b>	<b>846</b>	<b>1,24</b>

In accordo con la curva di capacità portante ottenuta, si evidenzia la lunghezza dei pali utilizzata, pari a 20 m.

#### 9.2.5.2 Verifica di capacità portante nei confronti dei carichi orizzontali

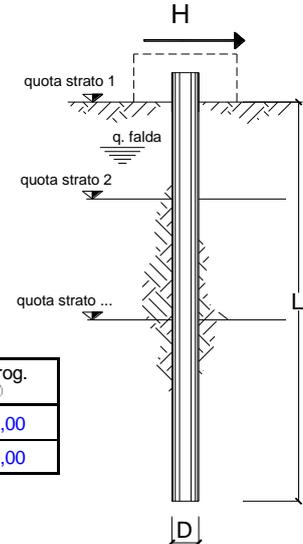
Nel seguito si riportano i risultati riguardanti la verifica di capacità portante nei confronti dei carichi orizzontali dei pali all'SLU, secondo la teoria di Broms descritta nel § 6.1.5.

Verifica di capacità portante H	I <sub>p</sub>	V <sub>Ed</sub>	N <sub>Ed</sub>	M <sub>Rd</sub>	H <sub>d</sub>	F <sub>d</sub>	FS
	[-]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]
SLU - STR (A1-M1-R3)	1	206,7	846,5	949,1	348,4	206,7	1,69
	2	206,7	670,4	923,4	340,0	206,7	1,64
SLU - STR (A1-M1-R3) H + V	1	280,2	577,4	909,1	340,0	280,2	1,21
	2	280,2	792,5	941,5	340,0	280,2	1,21
SLU - STR (A1-M1-R3) H - V	1	265,7	401,0	880,4	331,7	265,7	1,25
	2	265,7	688,2	926,1	340,0	265,7	1,28

**Tabella 36: Verifica di capacità portante nei confronti dei carichi orizzontali – SLU**

**opera**

coefficienti parziali Metodo di calcolo			A		M		R
			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\phi}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,00	1,00	1,60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1,30	1,50	1,00	1,00	1,30
	SISMA	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30
DM88			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista			1,00	1,00	1,00	1,00	1,30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m³)	$\gamma'$ (kN/m³)	$\phi$ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						$k_p$	$c_u$ (kPa)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1	Unità AL	0,00	18	18	26	2,56		26	2,56	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Unità AL	-3,00	18	8	26	2,56		26	2,56	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	Unità CL	-5,00	18	8	29	2,88		29	2,88	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Unità FC	-10,00	19	9	25	2,46		25	2,46	
<input type="checkbox"/> strato 5						1,00			1,00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1,00			1,00	

Quota falda -3 (m)  
 Diametro del palo D 0,80 (m)  
 Lunghezza del palo L 20,00 (m)  
 Momento di plasticizzazione palo My 880,45 (kNm)  
 Step di calcolo 0,05 (m)

- palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(ctrl+f)

	<b>H medio</b>		<b>H minimo</b>	
Palo lungo	733,1 (kN)		733,1 (kN)	
Palo intermedio	4113,8 (kN)		4113,8 (kN)	
Palo corto	13538,4 (kN)		13538,4 (kN)	
	<b>H<sub>med</sub> 733,1 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub> 733,1 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>
	<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub> ; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>		431,25 (kN)	
	<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>		<b>331,73 (kN)</b>	
Carico Assiale Permanente (G):		G =	265,7 (kN)	

**Figura 28: verifica Broms-carico limite orizzontale**

## 10 TABULATI DI CALCOLO

### 10.1 MURO TIPOLOGICO 02 (H=3m-fondazione diretta)

#### 10.1.1 Combinazione statica e sismica

#### Dati

#### Materiali

##### Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descr	Descrizione del materiale
<b>Calcestruzzo armato</b>	
C	Classe di resistenza del cls
A	Classe di resistenza dell'acciaio
$\gamma$	Peso specifico, espresso in [kN/mc]
R <sub>ck</sub>	Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kPa]
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
$\nu$	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc	Coeff. di omogenizzazione cls tesato/compresso

#### Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	$\gamma$ [kN/mc]	R <sub>ck</sub> [kPa]	E [kPa]	$\nu$	n	ntc
1	C32/40	C32/40	B450C	25,0000	40000	33642648	0.30	15.00	0.50
2	Materiale tiranti	Rck 250	Precomp	24,5170	24517	30073438	0.30	15.00	0.50

#### Acciai

Descr	f <sub>yk</sub> [kPa]	f <sub>uk</sub> [kPa]
B450C	450000	540000

#### Geometria profilo terreno a monte del muro

##### Simbologia adottata

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

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

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	0,00	0,00	0.000
2	10,00	0,00	0.000

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

#### Geometria muro

#### Geometria paramento e fondazione

Lunghezza muro	10,00	[m]
<b>Paramento</b>		
Materiale	C32/40	
Altezza paramento	3,00	[m]
Altezza paramento libero	2,50	[m]
Spessore in sommità	0,55	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,85	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]

Inclinazione paramento interno	5,70	[°]
<b>Mensola di marciapiede</b>		
Posizione rispetto alla testa del muro	0,00	[m]
Lunghezza	0,15	[m]
Spessore all'estremità libera	0,50	[m]
Spessore all'incastro	0,50	[m]
<b>Fondazione</b>		
Materiale	C32/40	
Lunghezza mensola di valle	0,80	[m]
Lunghezza mensola di monte	2,35	[m]
Lunghezza totale	4,00	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	1,00	[m]
Spessore magrone	0,00	[m]

### Descrizione terreni

#### Parametri di resistenza

##### Simbologia adottata

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kPa]
$c_a$	Adesione terra-muro espressa in [kPa]
<i>Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix</i>	
Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
$\tau_l$	Tensione tangenziale limite, espressa in [kPa]

n°	Descr	$\gamma$ [kN/mc]	$\gamma_{sat}$ [kN/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kPa]	$c_a$ [kPa]	Cesp	$\tau_l$ [kPa]
1	Rilevato stradale	20,0000	20,0000	35.000	0.000	0	0	---	---
2	Unità AL- argilla limosa alluvionale	18,0000	18,0000	26.000	26.000	0	0	---	---

#### Parametri di deformabilità

##### Simbologia adottata

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
$\nu$	Coeff. di Poisson
Ed	Modulo edometrico, espresso in [kPa]
CR	Rapporto di compressione
RR	Rapporto di ricomprensione
OCR	Grado di sovraconsolidazione

n°	Descr	E [kPa]	$\nu$	Ed [kPa]	CR	RR	OCR
1	Rilevato stradale	50000	0.300	0	0.000	0.000	1.000
2	Unità AL- argilla limosa alluvionale	20000	0.300	0	0.000	0.000	1.000

### Stratigrafia

##### Simbologia adottata

n°	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
$\alpha$	Inclinazione espressa in [°]
Terreno	Terreno dello strato
<i>Per calcolo pali (solo se presenti)</i>	
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Cesp	Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

*Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')*  
Kst<sub>sta</sub>, Kst<sub>sis</sub>    Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H [m]	$\alpha$ [°]	Terreno	Kw [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Ks	Cesp	Kst <sub>sta</sub>	Kst <sub>sis</sub>
1	4,00	0.000	Rilevato stradale	---	---	---	---	---

n°	H [m]	$\alpha$ [°]	Terreno	Kw [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Ks	Cesp	Kst <sub>sta</sub>	Kst <sub>sis</sub>
2	5,00	0.000	Unità AL- argilla limosa alluvionale	---	---	---	---	---

### Condizioni di carico

#### Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F <sub>x</sub>	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
F <sub>y</sub>	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M	Momento espresso in [kNm]
X <sub>i</sub>	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
X <sub>f</sub>	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Q <sub>i</sub>	Intensità del carico per x=X <sub>i</sub> espressa in [kN]
Q <sub>f</sub>	Intensità del carico per x=X <sub>f</sub> espressa in [kN]

### Condizione n° 1 (Pavimentazione) - PERMANENTE NS

#### Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	M [kNm]	X <sub>i</sub> [m]	X <sub>f</sub> [m]	Q <sub>i</sub> [kN]	Q <sub>f</sub> [kN]
1	Distribuito					0,00	10,00	2,5000	2,5000

### Condizione n° 2 (Carichi stradali) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.75 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

#### Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	M [kNm]	X <sub>i</sub> [m]	X <sub>f</sub> [m]	Q <sub>i</sub> [kN]	Q <sub>f</sub> [kN]
1	Distribuito					0,00	10,00	20,0000	20,0000

### Normativa

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

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

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

#### Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

#### Coeff. parziali $\gamma_R$ per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

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

### Dati sismici

Comune Roma  
Provincia Roma

Regione	Lazio
Latitudine	41.933189
Longitudine	12.601168
Indice punti di interpolazione	28292 - 28070 - 28069 - 28291
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.785	0.814
Accelerazione al suolo	$a_g/g$	[%]	0.182	0.083
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.572	2.489
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.290	0.279
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.419
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	0.380	9.811	4.906
Ultimo - Ribaltamento	0.570	14.717	7.359
Esercizio	0.470	5.850	2.925

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

### Opzioni di calcolo

#### Spinta

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

#### Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Meyerhof
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Meyerhof
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna
Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite ( $0.5B\gamma N_c$ )	Larghezza ridotta (B')
Fattori di forma e inclinazione del carico	Solo i fattori di inclinazione
Se la fondazione ha larghezza superiore a 2.0 m viene applicato	il fattore di riduzione per comportamento a piastra

#### Stabilità globale

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

#### Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante	0.00
Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione	50.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni	NO
Considera terreno sulla fondazione di valle	NO
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle	NO

#### Spostamenti

Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti

#### Cedimenti

Metodo di calcolo delle tensioni	Boussinesq
Metodo di calcolo dei cedimenti	Elastico
Profondità calcolo cedimenti	Automatica
$\Delta H$ massimo suddivisione strati	0,50 [m]

## Risultati per combinazione

### Spinta e forze

#### Simbologia adottata

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	Cx [kN]	Cy [kN]	Px [m]	Py [m]
1	Spinta statica	89,70	0,00	89,70	0,00	2,65	-2,42
	Peso/Inerzia muro			0,00	154,34/0,00	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	231,45/0,00	1,37	-1,46
2	Spinta statica	46,07	0,00	46,07	0,00	2,65	-2,63
	Incremento di spinta sismica		11,67	11,67	0,00	2,65	-2,67
	Peso/Inerzia muro			15,14	154,34/7,57	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			15,37	156,61/7,68	1,40	-1,47
3	Spinta statica	46,07	0,00	46,07	0,00	2,65	-2,63
	Incremento di spinta sismica		7,23	7,23	0,00	2,65	-2,67
	Peso/Inerzia muro			15,14	154,34/-7,57	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			15,37	156,61/-7,68	1,40	-1,47
10	Spinta statica	67,75	0,00	67,75	0,00	2,65	-2,43
	Peso/Inerzia muro			0,00	154,34/0,00	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	209,60/0,00	1,38	-1,46
11	Spinta statica	62,33	0,00	62,33	0,00	2,65	-2,46
	Peso/Inerzia muro			0,00	154,34/0,00	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	196,35/0,00	1,38	-1,46
12	Spinta statica	46,07	0,00	46,07	0,00	2,65	-2,63
	Peso/Inerzia muro			0,00	154,34/0,00	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	156,61/0,00	1,40	-1,47

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	Mr [kNm]	Ms [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	385,79	89,70	141,83	892,46	0,054
2 - STR (A1-M1-R3)	326,20	88,25	135,61	725,79	0,190
3 - STR (A1-M1-R3)	295,69	83,81	163,63	691,85	0,213
4 - GEO (A2-M2-R2)	373,87	91,02	145,40	860,51	0,087
5 - GEO (A2-M2-R2)	326,20	88,25	135,61	725,79	0,190
6 - GEO (A2-M2-R2)	295,69	83,81	163,63	691,85	0,213
7 - EQU (A1-M1-R3)	385,79	89,70	141,83	892,46	0,054
8 - EQU (A1-M1-R3)	333,83	109,91	172,56	742,76	0,292
9 - EQU (A1-M1-R3)	288,07	103,43	214,83	691,85	0,344
10 - SLER	363,94	67,75	106,60	833,88	0,001
11 - SLEF	350,69	62,33	95,76	798,37	-0,004
12 - SLEQ	310,95	46,07	63,24	691,85	-0,022

### Verifiche geotecniche

#### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

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



n°	D [m]	B' [m]	H [m]	γ [°]	φ [kN/mc]	c [kPa]
1	1,50	4,00	3,20	18,00	26,00	0
2	1,50	4,00	3,20	18,00	26,00	0
3	1,50	4,00	3,20	18,00	26,00	0

### Verifica a ribaltamento

#### Simbologia adottata

n°           Indice combinazione  
Ms           Momento stabilizzante, espresso in [kNm]  
Mr           Momento ribaltante, espresso in [kNm]  
FS           Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)  
La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
7 - EQU (A1-M1-R3)	892,46	141,83	6.292
8 - EQU (A1-M1-R3) H + V	742,76	172,56	4.304
9 - EQU (A1-M1-R3) H - V	691,85	214,83	3.221

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

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

Ic	C [m]	R [m]	FS
4 - GEO (A2-M2-R2)	-1,00; 1,50	6,61	1.804
5 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-1,00; 3,50	8,35	2.135
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1,00; 3,50	8,35	2.080

### Dettagli strisce verifiche stabilità

#### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte  
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto  
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)  
W           peso della striscia espresso in [kN]  
Qy          carico sulla striscia espresso in [kN]  
Qf          carico acqua sulla striscia espresso in [kN]  
α          angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)  
φ          angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia  
c          coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]  
b          larghezza della striscia espressa in [m]  
u          pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]  
Tx; Ty     Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

#### Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	6,18	12,31	0,00	5,45 - 0,47	70.426	29.256	0	0,0	
2	16,28	12,31	0,00	0,47	60.614	29.256	0	0,0	
3	23,11	12,31	0,00	0,47	53.084	29.256	0	0,0	
4	28,37	12,31	0,00	0,47	46.732	29.256	0	0,0	
5	32,62	12,31	0,00	0,47	41.069	29.256	0	0,0	
6	32,62	12,31	0,00	0,47	35.863	29.256	0	0,0	
7	41,23	12,31	0,00	0,47	30.984	21.315	0	0,0	
8	43,40	12,31	0,00	0,47	26.344	21.315	0	0,0	
9	45,18	12,31	0,00	0,47	21.885	21.315	0	0,0	
10	46,60	12,31	0,00	0,47	17.562	21.315	0	0,0	
11	47,70	12,31	0,00	0,47	13.341	21.315	0	0,0	
12	53,42	7,61	0,00	0,47	9.193	21.315	0	0,0	
13	47,32	0,00	0,00	0,47	5.093	21.315	0	0,0	
14	25,75	0,00	0,00	0,47	1.019	21.315	0	0,0	
15	24,49	0,00	0,00	0,47	-3.050	21.315	0	0,0	
16	22,98	0,00	0,00	0,47	-7.134	21.315	0	0,0	
17	22,34	0,00	0,00	0,47	-11.255	21.315	0	0,0	
18	21,39	0,00	0,00	0,47	-15.437	21.315	0	0,0	
19	20,14	0,00	0,00	0,47	-19.705	21.315	0	0,0	
20	18,55	0,00	0,00	0,47	-24.091	21.315	0	0,0	
21	16,58	0,00	0,00	0,47	-28.634	21.315	0	0,0	
22	14,16	0,00	0,00	0,47	-33.385	21.315	0	0,0	
23	11,02	0,00	0,00	0,47	-38.414	29.256	0	0,0	
24	7,16	0,00	0,00	0,47	-43.827	29.256	0	0,0	
25	2,45	0,00	0,00	-6,28 - 0,47	-48.939	29.256	0	0,0	

**Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V**

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	5,18	1,34	0,00	6,59 - 0,54	60,945	35,000	0	0,0	
2	14,40	1,34	0,00	0,54	54,500	35,000	0	0,0	
3	21,69	1,34	0,00	0,54	48,547	35,000	0	0,0	
4	27,66	1,34	0,00	0,54	43,238	35,000	0	0,0	
5	32,65	1,34	0,00	0,54	38,363	35,000	0	0,0	
6	36,85	1,34	0,00	0,54	33,799	35,000	0	0,0	
7	40,41	1,34	0,00	0,54	29,469	35,000	0	0,0	
8	41,50	1,34	0,00	0,54	25,317	26,000	0	0,0	
9	48,27	1,34	0,00	0,54	21,305	26,000	0	0,0	
10	50,09	1,34	0,00	0,54	17,399	26,000	0	0,0	
11	51,53	1,34	0,00	0,54	13,576	26,000	0	0,0	
12	53,13	1,34	0,00	0,54	9,814	26,000	0	0,0	
13	60,78	0,39	0,00	0,54	6,094	26,000	0	0,0	
14	34,09	0,00	0,00	0,54	2,400	26,000	0	0,0	
15	31,45	0,00	0,00	0,54	-1,284	26,000	0	0,0	
16	23,97	0,00	0,00	0,54	-4,973	26,000	0	0,0	
17	23,35	0,00	0,00	0,54	-8,684	26,000	0	0,0	
18	22,38	0,00	0,00	0,54	-12,431	26,000	0	0,0	
19	21,05	0,00	0,00	0,54	-16,234	26,000	0	0,0	
20	19,35	0,00	0,00	0,54	-20,112	26,000	0	0,0	
21	17,24	0,00	0,00	0,54	-24,089	26,000	0	0,0	
22	14,54	0,00	0,00	0,54	-28,195	35,000	0	0,0	
23	11,17	0,00	0,00	0,54	-32,466	35,000	0	0,0	
24	7,17	0,00	0,00	0,54	-36,952	35,000	0	0,0	
25	2,44	0,00	0,00	-6,82 - 0,54	-40,990	35,000	0	0,0	

**Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V**

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	5,18	1,34	0,00	6,59 - 0,54	60,945	35,000	0	0,0	
2	14,40	1,34	0,00	0,54	54,500	35,000	0	0,0	
3	21,69	1,34	0,00	0,54	48,547	35,000	0	0,0	
4	27,66	1,34	0,00	0,54	43,238	35,000	0	0,0	
5	32,65	1,34	0,00	0,54	38,363	35,000	0	0,0	
6	36,85	1,34	0,00	0,54	33,799	35,000	0	0,0	
7	40,41	1,34	0,00	0,54	29,469	35,000	0	0,0	
8	41,50	1,34	0,00	0,54	25,317	26,000	0	0,0	
9	48,27	1,34	0,00	0,54	21,305	26,000	0	0,0	
10	50,09	1,34	0,00	0,54	17,399	26,000	0	0,0	
11	51,53	1,34	0,00	0,54	13,576	26,000	0	0,0	
12	53,13	1,34	0,00	0,54	9,814	26,000	0	0,0	
13	60,78	0,39	0,00	0,54	6,094	26,000	0	0,0	
14	34,09	0,00	0,00	0,54	2,400	26,000	0	0,0	
15	31,45	0,00	0,00	0,54	-1,284	26,000	0	0,0	
16	23,97	0,00	0,00	0,54	-4,973	26,000	0	0,0	
17	23,35	0,00	0,00	0,54	-8,684	26,000	0	0,0	
18	22,38	0,00	0,00	0,54	-12,431	26,000	0	0,0	
19	21,05	0,00	0,00	0,54	-16,234	26,000	0	0,0	
20	19,35	0,00	0,00	0,54	-20,112	26,000	0	0,0	
21	17,24	0,00	0,00	0,54	-24,089	26,000	0	0,0	
22	14,54	0,00	0,00	0,54	-28,195	35,000	0	0,0	
23	11,17	0,00	0,00	0,54	-32,466	35,000	0	0,0	
24	7,17	0,00	0,00	0,54	-36,952	35,000	0	0,0	
25	2,44	0,00	0,00	-6,82 - 0,54	-40,990	35,000	0	0,0	

**Cedimenti**

**Simbologia adottata**

- Ic           Indice combinazione
- X, Y        Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
- w           Cedimento, espressa in [cm]
- dw          Cedimento differenziale, espressa in [cm]

Ic	X; Y [m]	w [cm]	dw [cm]
10	-1,35; -4,00	1,732	0,002
10	0,65; -4,00	2,487	0,757
10	2,65; -4,00	1,730	0,000
11	-1,35; -4,00	1,665	0,000
11	0,65; -4,00	2,397	0,731
11	2,65; -4,00	1,671	0,006
12	-1,35; -4,00	1,464	0,000
12	0,65; -4,00	2,125	0,661
12	2,65; -4,00	1,495	0,031

**Sollecitazioni**

**Elementi calcolati a trave**

**Simbologia adottata**

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

*Paramento*

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,88	0,00	0,14
2	-0,10	3,26	0,99	0,19
3	-0,20	4,67	2,05	0,35
4	-0,30	6,11	3,20	0,63
5	-0,40	7,57	4,43	1,04
6	-0,50	9,06	5,73	1,58
7	-0,60	10,57	7,12	2,26
8	-0,70	12,11	8,58	3,09
9	-0,80	13,67	10,13	4,08
10	-0,90	15,26	11,75	5,24
11	-1,00	16,87	13,46	6,57
12	-1,10	18,51	15,24	8,08
13	-1,20	20,17	17,11	9,79
14	-1,30	21,86	19,05	11,69
15	-1,40	23,57	21,08	13,80
16	-1,50	25,31	23,19	16,12
17	-1,60	27,07	25,37	18,67
18	-1,70	28,86	27,64	21,45
19	-1,80	30,67	29,98	24,47
20	-1,90	32,50	32,41	27,74
21	-2,00	34,37	34,91	31,26
22	-2,10	36,25	37,50	35,05
23	-2,20	38,16	40,16	39,11
24	-2,30	40,10	42,90	43,44
25	-2,40	42,06	45,73	48,07
26	-2,50	44,05	48,63	52,99
27	-2,60	46,06	51,62	58,22
28	-2,70	48,10	54,68	63,76
29	-2,80	50,16	57,83	69,62
30	-2,90	52,24	61,05	75,81
31	-3,00	54,35	64,36	82,34

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,97	0,00	0,15
2	-0,10	3,42	0,25	0,16
3	-0,20	4,90	0,58	0,22
4	-0,30	6,41	1,00	0,31
5	-0,40	7,95	1,49	0,46
6	-0,50	9,51	2,05	0,67
7	-0,60	11,09	2,70	0,95
8	-0,70	12,71	3,43	1,31
9	-0,80	14,34	4,24	1,75
10	-0,90	16,01	5,13	2,28
11	-1,00	17,70	6,09	2,91
12	-1,10	19,42	7,14	3,66
13	-1,20	21,16	8,26	4,52
14	-1,30	22,93	9,47	5,50
15	-1,40	24,73	10,75	6,62
16	-1,50	26,55	12,11	7,88
17	-1,60	28,40	13,56	9,29
18	-1,70	30,27	15,08	10,86
19	-1,80	32,17	16,68	12,59
20	-1,90	34,10	18,36	14,50
21	-2,00	36,05	20,12	16,59
22	-2,10	38,03	21,96	18,87
23	-2,20	40,04	23,88	21,34
24	-2,30	42,07	25,88	24,03
25	-2,40	44,12	27,95	26,92
26	-2,50	46,21	30,11	30,04
27	-2,60	48,32	32,35	33,39
28	-2,70	50,45	34,66	36,98
29	-2,80	52,62	37,06	40,81
30	-2,90	54,81	39,53	44,90
31	-3,00	57,02	42,09	49,25

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

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,88	0,00	0,14
2	-0,10	3,19	0,25	0,16
3	-0,20	4,54	0,57	0,21

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
4	-0,30	5,90	0,97	0,30
5	-0,40	7,30	1,43	0,44
6	-0,50	8,71	1,97	0,64
7	-0,60	10,15	2,59	0,91
8	-0,70	11,61	3,27	1,24
9	-0,80	13,09	4,03	1,66
10	-0,90	14,60	4,86	2,17
11	-1,00	16,14	5,77	2,76
12	-1,10	17,69	6,75	3,46
13	-1,20	19,27	7,80	4,27
14	-1,30	20,88	8,92	5,20
15	-1,40	22,51	10,12	6,25
16	-1,50	24,16	11,39	7,43
17	-1,60	25,83	12,73	8,75
18	-1,70	27,53	14,14	10,22
19	-1,80	29,25	15,63	11,84
20	-1,90	31,00	17,19	13,62
21	-2,00	32,77	18,83	15,57
22	-2,10	34,57	20,53	17,70
23	-2,20	36,38	22,31	20,01
24	-2,30	38,22	24,17	22,51
25	-2,40	40,09	26,09	25,20
26	-2,50	41,98	28,09	28,11
27	-2,60	43,89	30,16	31,23
28	-2,70	45,83	32,31	34,56
29	-2,80	47,79	34,53	38,13
30	-2,90	49,77	36,82	41,93
31	-3,00	51,78	39,18	45,97

Combinazione n° 10 - SLER

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,88	0,00	0,14
2	-0,10	3,26	0,72	0,18
3	-0,20	4,67	1,51	0,30
4	-0,30	6,11	2,36	0,51
5	-0,40	7,57	3,26	0,82
6	-0,50	9,06	4,23	1,22
7	-0,60	10,57	5,26	1,74
8	-0,70	12,11	6,35	2,36
9	-0,80	13,67	7,51	3,11
10	-0,90	15,26	8,72	3,99
11	-1,00	16,87	10,00	4,99
12	-1,10	18,51	11,34	6,14
13	-1,20	20,17	12,74	7,43
14	-1,30	21,86	14,20	8,87
15	-1,40	23,57	15,72	10,47
16	-1,50	25,31	17,30	12,23
17	-1,60	27,07	18,95	14,16
18	-1,70	28,86	20,65	16,27
19	-1,80	30,67	22,42	18,57
20	-1,90	32,50	24,25	21,05
21	-2,00	34,37	26,14	23,73
22	-2,10	36,25	28,10	26,60
23	-2,20	38,16	30,11	29,69
24	-2,30	40,10	32,19	32,99
25	-2,40	42,06	34,32	36,51
26	-2,50	44,05	36,52	40,26
27	-2,60	46,06	38,78	44,24
28	-2,70	48,10	41,11	48,46
29	-2,80	50,16	43,49	52,92
30	-2,90	52,24	45,93	57,64
31	-3,00	54,35	48,44	62,62

Combinazione n° 11 - SLEF

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,88	0,00	0,14
2	-0,10	3,26	0,57	0,17
3	-0,20	4,67	1,20	0,27
4	-0,30	6,11	1,89	0,44
5	-0,40	7,57	2,65	0,69
6	-0,50	9,06	3,46	1,03
7	-0,60	10,57	4,34	1,46
8	-0,70	12,11	5,28	1,99
9	-0,80	13,67	6,28	2,62
10	-0,90	15,26	7,34	3,36
11	-1,00	16,87	8,46	4,22
12	-1,10	18,51	9,64	5,21
13	-1,20	20,17	10,89	6,32
14	-1,30	21,86	12,20	7,57
15	-1,40	23,57	13,57	8,96
16	-1,50	25,31	15,00	10,50
17	-1,60	27,07	16,49	12,20
18	-1,70	28,86	18,04	14,05

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
19	-1,80	30,67	19,66	16,08
20	-1,90	32,50	21,33	18,27
21	-2,00	34,37	23,07	20,65
22	-2,10	36,25	24,87	23,21
23	-2,20	38,16	26,73	25,97
24	-2,30	40,10	28,65	28,92
25	-2,40	42,06	30,63	32,08
26	-2,50	44,05	32,68	35,45
27	-2,60	46,06	34,79	39,04
28	-2,70	48,10	36,95	42,85
29	-2,80	50,16	39,18	46,90
30	-2,90	52,24	41,48	51,17
31	-3,00	54,35	43,83	55,70

Combinazione n° 12 - SLEQ

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,88	0,00	0,14
2	-0,10	3,26	0,11	0,15
3	-0,20	4,67	0,28	0,18
4	-0,30	6,11	0,51	0,23
5	-0,40	7,57	0,80	0,32
6	-0,50	9,06	1,16	0,45
7	-0,60	10,57	1,57	0,63
8	-0,70	12,11	2,05	0,86
9	-0,80	13,67	2,59	1,14
10	-0,90	15,26	3,19	1,49
11	-1,00	16,87	3,85	1,92
12	-1,10	18,51	4,57	2,42
13	-1,20	20,17	5,35	3,00
14	-1,30	21,86	6,20	3,67
15	-1,40	23,57	7,11	4,44
16	-1,50	25,31	8,08	5,31
17	-1,60	27,07	9,11	6,29
18	-1,70	28,86	10,20	7,39
19	-1,80	30,67	11,35	8,60
20	-1,90	32,50	12,57	9,95
21	-2,00	34,37	13,84	11,42
22	-2,10	36,25	15,18	13,04
23	-2,20	38,16	16,58	14,80
24	-2,30	40,10	18,04	16,72
25	-2,40	42,06	19,56	18,80
26	-2,50	44,05	21,15	21,04
27	-2,60	46,06	22,79	23,45
28	-2,70	48,10	24,50	26,04
29	-2,80	50,16	26,27	28,81
30	-2,90	52,24	28,10	31,78
31	-3,00	54,35	29,99	34,94

*Fondazione*

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	7,91	0,40
3	-1,15	0,00	15,78	1,58
4	-1,05	0,00	23,61	3,55
5	-0,95	0,00	31,40	6,30
6	-0,85	0,00	39,15	9,83
7	-0,75	0,00	46,87	14,13
8	-0,65	0,00	54,54	19,20
9	-0,55	0,00	62,17	25,04
10	0,30	0,00	-95,21	-116,10
11	0,40	0,00	-91,67	-106,95
12	0,50	0,00	-88,10	-98,15
13	0,59	0,00	-84,49	-89,70
14	0,69	0,00	-80,84	-81,60
15	0,79	0,00	-77,15	-73,87
16	0,89	0,00	-73,43	-66,49
17	0,98	0,00	-69,67	-59,49
18	1,08	0,00	-65,87	-52,85
19	1,18	0,00	-62,03	-46,59
20	1,28	0,00	-58,16	-40,70
21	1,38	0,00	-54,25	-35,20
22	1,47	0,00	-50,30	-30,08
23	1,57	0,00	-46,32	-25,35
24	1,67	0,00	-42,29	-21,01
25	1,77	0,00	-38,23	-17,07
26	1,87	0,00	-34,13	-13,53
27	1,96	0,00	-30,00	-10,39
28	2,06	0,00	-25,83	-7,65
29	2,16	0,00	-21,62	-5,33

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
30	2,26	0,00	-17,37	-3,42
31	2,36	0,00	-13,08	-1,93
32	2,45	0,00	-8,76	-0,86
33	2,55	0,00	-4,40	-0,22
34	2,65	0,00	0,00	0,00

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	7,93	0,40
3	-1,15	0,00	15,74	1,58
4	-1,05	0,00	23,44	3,54
5	-0,95	0,00	31,02	6,27
6	-0,85	0,00	38,48	9,74
7	-0,75	0,00	45,82	13,96
8	-0,65	0,00	53,05	18,90
9	-0,55	0,00	60,17	24,56
10	0,30	0,00	-36,54	-55,54
11	0,40	0,00	-36,31	-51,98
12	0,50	0,00	-35,96	-48,44
13	0,59	0,00	-35,50	-44,94
14	0,69	0,00	-34,92	-41,49
15	0,79	0,00	-34,24	-38,10
16	0,89	0,00	-33,44	-34,79
17	0,98	0,00	-32,53	-31,56
18	1,08	0,00	-31,51	-28,42
19	1,18	0,00	-30,38	-25,39
20	1,28	0,00	-29,14	-22,48
21	1,38	0,00	-27,78	-19,69
22	1,47	0,00	-26,32	-17,04
23	1,57	0,00	-24,74	-14,54
24	1,67	0,00	-23,05	-12,20
25	1,77	0,00	-21,25	-10,03
26	1,87	0,00	-19,33	-8,04
27	1,96	0,00	-17,31	-6,24
28	2,06	0,00	-15,17	-4,65
29	2,16	0,00	-12,92	-3,28
30	2,26	0,00	-10,56	-2,13
31	2,36	0,00	-8,09	-1,21
32	2,45	0,00	-5,50	-0,55
33	2,55	0,00	-2,81	-0,14
34	2,65	0,00	0,00	0,00

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

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	7,20	0,36
3	-1,15	0,00	14,28	1,44
4	-1,05	0,00	21,25	3,21
5	-0,95	0,00	28,09	5,68
6	-0,85	0,00	34,82	8,83
7	-0,75	0,00	41,43	12,64
8	-0,65	0,00	47,92	17,11
9	-0,55	0,00	54,29	22,22
10	0,30	0,00	-54,82	-77,21
11	0,40	0,00	-53,84	-71,89
12	0,50	0,00	-52,75	-66,67
13	0,59	0,00	-51,54	-61,56
14	0,69	0,00	-50,22	-56,58
15	0,79	0,00	-48,79	-51,73
16	0,89	0,00	-47,24	-47,03
17	0,98	0,00	-45,58	-42,48
18	1,08	0,00	-43,81	-38,11
19	1,18	0,00	-41,92	-33,91
20	1,28	0,00	-39,92	-29,90
21	1,38	0,00	-37,81	-26,10
22	1,47	0,00	-35,58	-22,50
23	1,57	0,00	-33,24	-19,13
24	1,67	0,00	-30,78	-16,00
25	1,77	0,00	-28,22	-13,11
26	1,87	0,00	-25,53	-10,47
27	1,96	0,00	-22,74	-8,11
28	2,06	0,00	-19,83	-6,03
29	2,16	0,00	-16,81	-4,23
30	2,26	0,00	-13,67	-2,74
31	2,36	0,00	-10,43	-1,56
32	2,45	0,00	-7,06	-0,70
33	2,55	0,00	-3,59	-0,18
34	2,65	0,00	0,00	0,00

Combinazione n° 10 - SLER

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	6,62	0,33
3	-1,15	0,00	13,23	1,32
4	-1,05	0,00	19,85	2,98
5	-0,95	0,00	26,47	5,29
6	-0,85	0,00	33,08	8,27
7	-0,75	0,00	39,69	11,91
8	-0,65	0,00	46,30	16,21
9	-0,55	0,00	52,92	21,17
10	0,30	0,00	-38,96	-45,88
11	0,40	0,00	-37,35	-42,14
12	0,50	0,00	-35,73	-38,57
13	0,59	0,00	-34,12	-35,15
14	0,69	0,00	-32,50	-31,88
15	0,79	0,00	-30,89	-28,78
16	0,89	0,00	-29,27	-25,84
17	0,98	0,00	-27,65	-23,05
18	1,08	0,00	-26,03	-20,42
19	1,18	0,00	-24,41	-17,95
20	1,28	0,00	-22,79	-15,64
21	1,38	0,00	-21,17	-13,49
22	1,47	0,00	-19,54	-11,50
23	1,57	0,00	-17,92	-9,66
24	1,67	0,00	-16,30	-7,99
25	1,77	0,00	-14,67	-6,47
26	1,87	0,00	-13,04	-5,11
27	1,96	0,00	-11,42	-3,92
28	2,06	0,00	-9,79	-2,88
29	2,16	0,00	-8,16	-2,00
30	2,26	0,00	-6,53	-1,28
31	2,36	0,00	-4,90	-0,72
32	2,45	0,00	-3,27	-0,32
33	2,55	0,00	-1,63	-0,08
34	2,65	0,00	0,00	0,00

Combinazione n° 11 - SLEF

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	6,22	0,31
3	-1,15	0,00	12,44	1,24
4	-1,05	0,00	18,67	2,80
5	-0,95	0,00	24,89	4,98
6	-0,85	0,00	31,12	7,78
7	-0,75	0,00	37,36	11,20
8	-0,65	0,00	43,59	15,25
9	-0,55	0,00	49,83	19,92
10	0,30	0,00	-34,33	-40,07
11	0,40	0,00	-32,87	-36,78
12	0,50	0,00	-31,42	-33,63
13	0,59	0,00	-29,97	-30,63
14	0,69	0,00	-28,52	-27,76
15	0,79	0,00	-27,07	-25,04
16	0,89	0,00	-25,62	-22,46
17	0,98	0,00	-24,18	-20,03
18	1,08	0,00	-22,74	-17,73
19	1,18	0,00	-21,30	-15,57
20	1,28	0,00	-19,86	-13,56
21	1,38	0,00	-18,43	-11,68
22	1,47	0,00	-16,99	-9,95
23	1,57	0,00	-15,56	-8,36
24	1,67	0,00	-14,14	-6,90
25	1,77	0,00	-12,71	-5,59
26	1,87	0,00	-11,29	-4,41
27	1,96	0,00	-9,87	-3,38
28	2,06	0,00	-8,45	-2,48
29	2,16	0,00	-7,04	-1,72
30	2,26	0,00	-5,63	-1,10
31	2,36	0,00	-4,22	-0,62
32	2,45	0,00	-2,81	-0,27
33	2,55	0,00	-1,40	-0,07
34	2,65	0,00	0,00	0,00

Combinazione n° 12 - SLEQ

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	5,03	0,25
3	-1,15	0,00	10,06	1,01
4	-1,05	0,00	15,12	2,26
5	-0,95	0,00	20,18	4,03
6	-0,85	0,00	25,26	6,30
7	-0,75	0,00	30,35	9,08
8	-0,65	0,00	35,45	12,37
9	-0,55	0,00	40,57	16,17

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
10	0,30	0,00	-20,45	-22,64
11	0,40	0,00	-19,45	-20,69
12	0,50	0,00	-18,47	-18,83
13	0,59	0,00	-17,51	-17,07
14	0,69	0,00	-16,55	-15,41
15	0,79	0,00	-15,61	-13,83
16	0,89	0,00	-14,67	-12,35
17	0,98	0,00	-13,76	-10,96
18	1,08	0,00	-12,85	-9,66
19	1,18	0,00	-11,95	-8,44
20	1,28	0,00	-11,07	-7,31
21	1,38	0,00	-10,20	-6,27
22	1,47	0,00	-9,34	-5,32
23	1,57	0,00	-8,50	-4,44
24	1,67	0,00	-7,66	-3,65
25	1,77	0,00	-6,84	-2,94
26	1,87	0,00	-6,03	-2,31
27	1,96	0,00	-5,24	-1,76
28	2,06	0,00	-4,45	-1,29
29	2,16	0,00	-3,68	-0,89
30	2,26	0,00	-2,92	-0,57
31	2,36	0,00	-2,17	-0,32
32	2,45	0,00	-1,43	-0,14
33	2,55	0,00	-0,71	-0,03
34	2,65	0,00	0,00	0,00

## Risultati per involucro

### Spinta e forze

#### Simbologia adottata

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
1	Spinta statica	89,70	0,00	89,70	0,00	2,65	-2,42
	Peso/Inerzia muro			0,00	154,34/0,00	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	231,45/0,00	1,37	-1,46
2	Spinta statica	46,07	0,00	46,07	0,00	2,65	-2,63
	Incremento di spinta sismica		11,67	11,67	0,00	2,65	-2,67
	Peso/Inerzia muro			15,14	154,34/7,57	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			15,37	156,61/7,68	1,40	-1,47

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
M <sub>r</sub>	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
M <sub>s</sub>	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	M <sub>r</sub> [kNm]	M <sub>s</sub> [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	385,79	89,70	141,83	892,46	0,054
2 - STR (A1-M1-R3)	326,20	88,25	135,61	725,79	0,190
3 - STR (A1-M1-R3)	295,69	83,81	163,63	691,85	0,213
4 - GEO (A2-M2-R2)	373,87	91,02	145,40	860,51	0,087
5 - GEO (A2-M2-R2)	326,20	88,25	135,61	725,79	0,190
6 - GEO (A2-M2-R2)	295,69	83,81	163,63	691,85	0,213
7 - EQU (A1-M1-R3)	385,79	89,70	141,83	892,46	0,054
8 - EQU (A1-M1-R3)	333,83	109,91	172,56	742,76	0,292
9 - EQU (A1-M1-R3)	288,07	103,43	214,83	691,85	0,344
10 - SLEP	363,94	67,75	106,60	833,88	0,001
11 - SLEF	350,69	62,33	95,76	798,37	-0,004
12 - SLEQ	310,95	46,07	63,24	691,85	-0,022

### Verifiche geotecniche

#### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>SUPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.098		2.908			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.803		2.722			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.721		2.847			
4 - GEO (A2-M2-R2)					1.804		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				2.135		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.080		
7 - EQU (A1-M1-R3)			6.292				
8 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		4.304				
9 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		3.221				

### Verifica a scorrimento fondazione

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
----	---------------------

Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kN]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kN]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kN]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kN]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kN]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kN]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa [kN]	Rpt [kN]	Rps [kN]	Rp [kN]	Rt [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	188,16	0,00	0,00	--	--	188,16	89,70	2.098
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	144,22	0,00	0,00	--	--	144,22	83,81	1.721

### Verifica a carico limite

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kN]
Qu	carico limite del terreno, espresso in [kN]
Qd	Portanza di progetto, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limite e carico agente al piano di posa)

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	385,79	1121,83	801,30	2.908
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	326,20	887,99	739,99	2.722

### Dettagli calcolo portanza

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante
ic, iq, iy	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, dy	Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, gy	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, by	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, sy	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, py	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re	Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc	Indici di rigidità per punzonamento secondo Vesic
ry	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B_y N_y$ viene moltiplicato per questo fattore
D	Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B'	Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H	Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ	Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
φ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c	Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]

Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	Ir	Irc	Re	ry
1	22.254	0.730	1.120	--	--	--	--	--	--	0.884	0.925
	11.854	0.730	1.060	--	--	--	--	--	--		
	8.002	0.247	1.060	--	--	--	--	--	--		
2	22.254	0.692	1.120	--	--	--	--	--	--	0.782	0.925
	11.854	0.692	1.060	--	--	--	--	--	--		
	8.002	0.175	1.060	--	--	--	--	--	--		

n°	D [m]	B' [m]	H [m]	γ [°]	φ [kN/mc]	c [kPa]
1	1,50	4,00	3,20	18,00	26,00	0
2	1,50	4,00	3,20	18,00	26,00	0

### Verifica a ribaltamento

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
7 - EQU (A1-M1-R3)	892,46	141,83	6.292
9 - EQU (A1-M1-R3) H - V	691,85	214,83	3.221

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
4 - GEO (A2-M2-R2)	-1,00; 1,50	6,61	1.804
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1,00; 3,50	8,35	2.080

### Dettagli strisce verifiche stabilità

#### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte	
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto	
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)	
W	peso della striscia espresso in [kN]
Qy	carico sulla striscia espresso in [kN]
Qf	carico acqua sulla striscia espresso in [kN]
$\alpha$	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
$\phi$	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
Tx; Ty	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	6,18	12,31	0,00	5,45 - 0,47	70,426	29,256	0	0,0	
2	16,28	12,31	0,00	0,47	60,614	29,256	0	0,0	
3	23,11	12,31	0,00	0,47	53,084	29,256	0	0,0	
4	28,37	12,31	0,00	0,47	46,732	29,256	0	0,0	
5	32,62	12,31	0,00	0,47	41,069	29,256	0	0,0	
6	32,62	12,31	0,00	0,47	35,863	29,256	0	0,0	
7	41,23	12,31	0,00	0,47	30,984	21,315	0	0,0	
8	43,40	12,31	0,00	0,47	26,344	21,315	0	0,0	
9	45,18	12,31	0,00	0,47	21,885	21,315	0	0,0	
10	46,60	12,31	0,00	0,47	17,562	21,315	0	0,0	
11	47,70	12,31	0,00	0,47	13,341	21,315	0	0,0	
12	53,42	7,61	0,00	0,47	9,193	21,315	0	0,0	
13	47,32	0,00	0,00	0,47	5,093	21,315	0	0,0	
14	25,75	0,00	0,00	0,47	1,019	21,315	0	0,0	
15	24,49	0,00	0,00	0,47	-3,050	21,315	0	0,0	
16	22,98	0,00	0,00	0,47	-7,134	21,315	0	0,0	
17	22,34	0,00	0,00	0,47	-11,255	21,315	0	0,0	
18	21,39	0,00	0,00	0,47	-15,437	21,315	0	0,0	
19	20,14	0,00	0,00	0,47	-19,705	21,315	0	0,0	
20	18,55	0,00	0,00	0,47	-24,091	21,315	0	0,0	
21	16,58	0,00	0,00	0,47	-28,634	21,315	0	0,0	
22	14,16	0,00	0,00	0,47	-33,385	21,315	0	0,0	
23	11,02	0,00	0,00	0,47	-38,414	29,256	0	0,0	
24	7,16	0,00	0,00	0,47	-43,827	29,256	0	0,0	
25	2,45	0,00	0,00	-6,28 - 0,47	-48,939	29,256	0	0,0	

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	5,18	1,34	0,00	6,59 - 0,54	60,945	35,000	0	0,0	
2	14,40	1,34	0,00	0,54	54,500	35,000	0	0,0	
3	21,69	1,34	0,00	0,54	48,547	35,000	0	0,0	
4	27,66	1,34	0,00	0,54	43,238	35,000	0	0,0	
5	32,65	1,34	0,00	0,54	38,363	35,000	0	0,0	
6	36,85	1,34	0,00	0,54	33,799	35,000	0	0,0	
7	40,41	1,34	0,00	0,54	29,469	35,000	0	0,0	
8	41,50	1,34	0,00	0,54	25,317	26,000	0	0,0	
9	48,27	1,34	0,00	0,54	21,305	26,000	0	0,0	
10	50,09	1,34	0,00	0,54	17,399	26,000	0	0,0	
11	51,53	1,34	0,00	0,54	13,576	26,000	0	0,0	
12	53,13	1,34	0,00	0,54	9,814	26,000	0	0,0	
13	60,78	0,39	0,00	0,54	6,094	26,000	0	0,0	
14	34,09	0,00	0,00	0,54	2,400	26,000	0	0,0	
15	31,45	0,00	0,00	0,54	-1,284	26,000	0	0,0	
16	23,97	0,00	0,00	0,54	-4,973	26,000	0	0,0	
17	23,35	0,00	0,00	0,54	-8,684	26,000	0	0,0	
18	22,38	0,00	0,00	0,54	-12,431	26,000	0	0,0	
19	21,05	0,00	0,00	0,54	-16,234	26,000	0	0,0	
20	19,35	0,00	0,00	0,54	-20,112	26,000	0	0,0	
21	17,24	0,00	0,00	0,54	-24,089	26,000	0	0,0	
22	14,54	0,00	0,00	0,54	-28,195	35,000	0	0,0	
23	11,17	0,00	0,00	0,54	-32,466	35,000	0	0,0	
24	7,17	0,00	0,00	0,54	-36,952	35,000	0	0,0	
25	2,44	0,00	0,00	-6,82 - 0,54	-40,990	35,000	0	0,0	

### Cedimenti

#### Simbologia adottata

Ic	Indice combinazione
X, Y	Punto di calcolo del cedimento, espressa in [m]
w	Cedimento, espressa in [cm]
dw	Cedimento differenziale, espressa in [cm]

Ic	X; Y [m]	w [cm]	dw [cm]
10	-1,35; -4,00	1,732	0,002
10	0,65; -4,00	2,487	0,757
10	2,65; -4,00	1,730	0,000

### Sollecitazioni

#### Elementi calcolati a trave

#### Simbologia adottata

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

### Paramento

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	0,00	1,88	1,97	0,00	0,00	0,14	0,15
2	-0,10	3,19	3,42	0,11	0,99	0,15	0,19
3	-0,20	4,54	4,90	0,28	2,05	0,18	0,35
4	-0,30	5,90	6,41	0,51	3,20	0,23	0,63
5	-0,40	7,30	7,95	0,80	4,43	0,32	1,04
6	-0,50	8,71	9,51	1,16	5,73	0,45	1,58
7	-0,60	10,15	11,09	1,57	7,12	0,63	2,26
8	-0,70	11,61	12,71	2,05	8,58	0,86	3,09
9	-0,80	13,09	14,34	2,59	10,13	1,14	4,08
10	-0,90	14,60	16,01	3,19	11,75	1,49	5,24
11	-1,00	16,14	17,70	3,85	13,46	1,92	6,57
12	-1,10	17,69	19,42	4,57	15,24	2,42	8,08
13	-1,20	19,27	21,16	5,35	17,11	3,00	9,79
14	-1,30	20,88	22,93	6,20	19,05	3,67	11,69
15	-1,40	22,51	24,73	7,11	21,08	4,44	13,80
16	-1,50	24,16	26,55	8,08	23,19	5,31	16,12
17	-1,60	25,83	28,40	9,11	25,37	6,29	18,67
18	-1,70	27,53	30,27	10,20	27,64	7,39	21,45
19	-1,80	29,25	32,17	11,35	29,98	8,60	24,47
20	-1,90	31,00	34,10	12,57	32,41	9,95	27,74
21	-2,00	32,77	36,05	13,84	34,91	11,42	31,26
22	-2,10	34,57	38,03	15,18	37,50	13,04	35,05
23	-2,20	36,38	40,04	16,58	40,16	14,80	39,11
24	-2,30	38,22	42,07	18,04	42,90	16,72	43,44
25	-2,40	40,09	44,12	19,56	45,73	18,80	48,07
26	-2,50	41,98	46,21	21,15	48,63	21,04	52,99
27	-2,60	43,89	48,32	22,79	51,62	23,45	58,22
28	-2,70	45,83	50,45	24,50	54,68	26,04	63,76
29	-2,80	47,79	52,62	26,27	57,83	28,81	69,62
30	-2,90	49,77	54,81	28,10	61,05	31,78	75,81
31	-3,00	51,78	57,02	29,99	64,36	34,94	82,34

### Fondazione

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	0,00	5,03	7,93	0,25	0,40
3	-1,15	0,00	0,00	10,06	15,78	1,01	1,58
4	-1,05	0,00	0,00	15,12	23,61	2,26	3,55
5	-0,95	0,00	0,00	20,18	31,40	4,03	6,30
6	-0,85	0,00	0,00	25,26	39,15	6,30	9,83
7	-0,75	0,00	0,00	30,35	46,87	9,08	14,13
8	-0,65	0,00	0,00	35,45	54,54	12,37	19,20
9	-0,55	0,00	0,00	40,57	62,17	16,17	25,04
10	0,30	0,00	0,00	-95,21	-20,45	-116,10	-22,64
11	0,40	0,00	0,00	-91,67	-19,45	-106,95	-20,69
12	0,50	0,00	0,00	-88,10	-18,47	-98,15	-18,83
13	0,59	0,00	0,00	-84,49	-17,51	-89,70	-17,07
14	0,69	0,00	0,00	-80,84	-16,55	-81,60	-15,41
15	0,79	0,00	0,00	-77,15	-15,61	-73,87	-13,83
16	0,89	0,00	0,00	-73,43	-14,67	-66,49	-12,35
17	0,98	0,00	0,00	-69,67	-13,76	-59,49	-10,96
18	1,08	0,00	0,00	-65,87	-12,85	-52,85	-9,66
19	1,18	0,00	0,00	-62,03	-11,95	-46,59	-8,44
20	1,28	0,00	0,00	-58,16	-11,07	-40,70	-7,31

n°	X [m]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	T <sub>min</sub> [kN]	T <sub>max</sub> [kN]	M <sub>min</sub> [kNm]	M <sub>max</sub> [kNm]
21	1,38	0,00	0,00	-54,25	-10,20	-35,20	-6,27
22	1,47	0,00	0,00	-50,30	-9,34	-30,08	-5,32
23	1,57	0,00	0,00	-46,32	-8,50	-25,35	-4,44
24	1,67	0,00	0,00	-42,29	-7,66	-21,01	-3,65
25	1,77	0,00	0,00	-38,23	-6,84	-17,07	-2,94
26	1,87	0,00	0,00	-34,13	-6,03	-13,53	-2,31
27	1,96	0,00	0,00	-30,00	-5,24	-10,39	-1,76
28	2,06	0,00	0,00	-25,83	-4,45	-7,65	-1,29
29	2,16	0,00	0,00	-21,62	-3,68	-5,33	-0,89
30	2,26	0,00	0,00	-17,37	-2,92	-3,42	-0,57
31	2,36	0,00	0,00	-13,08	-2,17	-1,93	-0,32
32	2,45	0,00	0,00	-8,76	-1,43	-0,86	-0,14
33	2,55	0,00	0,00	-4,40	-0,71	-0,22	-0,03
34	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

### 10.1.2 Combinazione eccezionale d'urto

#### Dati

#### Materiali

##### Simbologia adottata

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

#### Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	γ [kN/mc]	R <sub>ck</sub> [kPa]	E [kPa]	ν	n	ntc
1	C32/40	C32/40	B450C	25,0000	40000	33642648	0.30	15.00	0.50
2	Materiale tiranti	Rck 250	Precomp	24,5170	24517	30073438	0.30	15.00	0.50

#### Acciai

Descr	f <sub>yk</sub> [kPa]	f <sub>uk</sub> [kPa]
B450C	450000	540000

#### Geometria profilo terreno a monte del muro

##### Simbologia adottata

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

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

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	0,00	0,00	0.000
2	10,00	0,00	0.000

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

#### Falda

##### Simbologia adottata

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

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]  
A inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-4,00	-7,00	0.000
2	10,00	-7,00	0.000

### Geometria muro

#### *Geometria paramento e fondazione*

Lunghezza muro	10,00	[m]
<u>Paramento</u>		
Materiale	C32/40	
Altezza paramento	3,00	[m]
Altezza paramento libero	2,50	[m]
Spessore in sommità	0,55	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,85	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	5,70	[°]
<u>Mensola di marciapiede</u>		
Posizione rispetto alla testa del muro	0,00	[m]
Lunghezza	0,15	[m]
Spessore all'estremità libera	0,50	[m]
Spessore all'incastro	0,50	[m]
<u>Fondazione</u>		
Materiale	C32/40	
Lunghezza mensola di valle	0,80	[m]
Lunghezza mensola di monte	2,35	[m]
Lunghezza totale	4,00	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	1,00	[m]
Spessore magrone	0,00	[m]

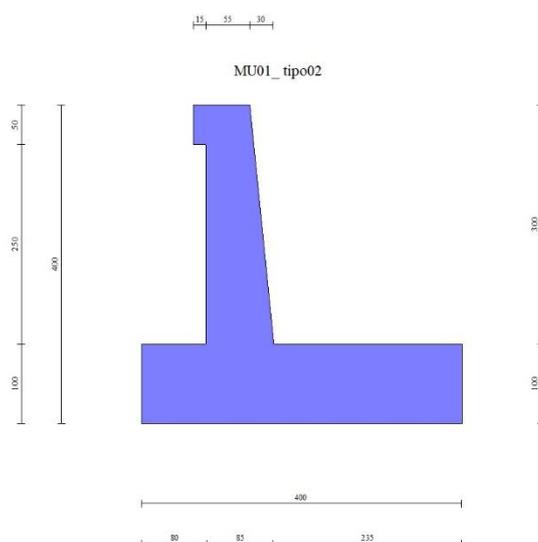


Fig. 1 - Sezione quotata del muro

### Descrizione terreni

### Parametri di resistenza

#### Simbologia adottata

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kPa]
$c_a$	Adesione terra-muro espressa in [kPa]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix	
Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
$\tau_l$	Tensione tangenziale limite, espressa in [kPa]

n°	Descr	$\gamma$ [kN/mc]	$\gamma_{sat}$ [kN/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kPa]	$c_a$ [kPa]	Cesp	$\tau_l$ [kPa]
1	Rilevato stradale	20,0000	20,0000	35.000	23.330	0	0	---	---
2	unità AL-argilla limosa argillosa	18,0000	18,0000	26.000	26.000	5	0	---	---

### Parametri di deformabilità

#### Simbologia adottata

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
$\nu$	Coeff. di Poisson
Ed	Modulo edometrico, espresso in [kPa]
CR	Rapporto di compressione
RR	Rapporto di ricomprensione
OCR	Grado di sovraconsolidazione

n°	Descr	E [kPa]	$\nu$	Ed [kPa]	CR	RR	OCR
1	Rilevato stradale	50000	0.300	0	0.000	0.000	1.000
2	unità AL-argilla limosa argillosa	20000	0.300	0	0.000	0.000	1.000

### Stratigrafia

#### Simbologia adottata

n°	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
$\alpha$	Inclinazione espressa in [°]
Terreno	Terreno dello strato
Per calcolo pali (solo se presenti)	
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm <sup>2</sup> /cm
Ks	Coefficiente di spinta
Cesp	Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

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

Kst<sub>sta</sub>, Kst<sub>sis</sub> Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H [m]	$\alpha$ [°]	Terreno	Kw [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Ks	Cesp	Kst <sub>sta</sub>	Kst <sub>sis</sub>
1	4,00	0.000	Rilevato stradale	---	---	---	---	---
2	5,00	0.000	unità AL-argilla limosa argillosa	---	---	---	---	---



Carichi	Effetto		Combinazioni statiche					Combinazioni sismiche		
			HYD	UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{QT, fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{QT, sfav}$	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Coeff. parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

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

Dati sismici

Comune	Roma
Provincia	Roma
Regione	Lazio
Latitudine	41.933189
Longitudine	12.601168
Indice punti di interpolazione	28292 - 28070 - 28069 - 28291
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.645	0.769
Accelerazione al suolo	$a_g/g$	[%]	0.168	0.078
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.564	2.508
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.304	0.284
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.442
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo		0.380	9.186
Ultimo - Ribaltamento		0.570	13.779
Esercizio		0.470	5.527

Nel calcolo non è stato portato in conto il sisma verticale  
 Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma del diagramma statico**

**Opzioni di calcolo**

Spinta

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

Capacità portante

Metodo di calcolo della portanza	Meyerhof
Criterio di media calcolo del terreno equivalente (terreni stratificati)	Ponderata
Criterio di riduzione per eccentricità della portanza	Meyerhof
Criterio di riduzione per rottura locale (punzonamento)	Nessuna
Larghezza fondazione nel terzo termine della formula del carico limite (0.5B <sub>γN<sub>s</sub></sub> )	Larghezza ridotta (B')
Fattori di forma e inclinazione del carico	Solo i fattori di inclinazione
Se la fondazione ha larghezza superiore a 2.0 m viene applicato il fattore di riduzione per comportamento a piastra	

Stabilità globale

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

Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante	0.00
--	------

---

Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione	50.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni	NO
Considera terreno sulla fondazione di valle	SI
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle	NO

Spostamenti

Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti

Cedimenti

Metodo di calcolo delle tensioni	Boussinesq
Metodo di calcolo dei cedimenti	Elastico
Profondità calcolo cedimenti	Automatica
$\Delta H$ massimo suddivisione strati	0,50 [m]

## Risultati per combinazione

### Spinta e forze

#### Simbologia adottata

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
1	Spinta statica	41,55	23,33	38,15	16,46	2,65	-2,63
	Peso/Inerzia muro			0,00	154,34/0,00	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	156,61/0,00	1,40	-1,47
	Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle			0,00	8,00	-0,95	-2,75
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle			0,00	0,00	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			31,81	0,00	--	--
	4			Spinta statica	41,55	23,33	38,15
Peso/Inerzia muro		0,00	154,34/0,00	0,35			-2,82
Peso/Inerzia terrapieno		0,00	156,61/0,00	1,40			-1,47
Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle		0,00	8,00	-0,95			-2,75
Peso dell'acqua sulla fondazione di valle		0,00	0,00	0,00			0,00
Risultante forze sul muro		31,81	0,00	--			--

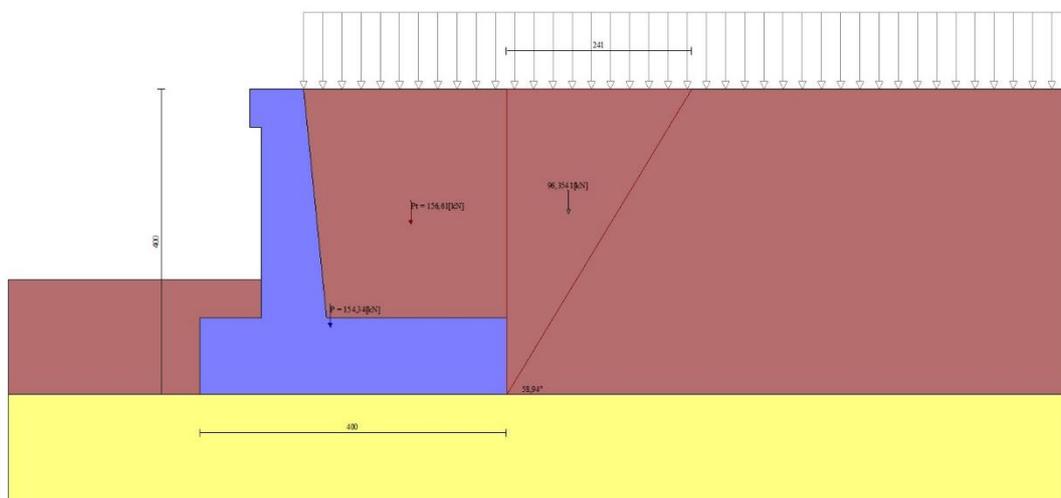


Fig. 3 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

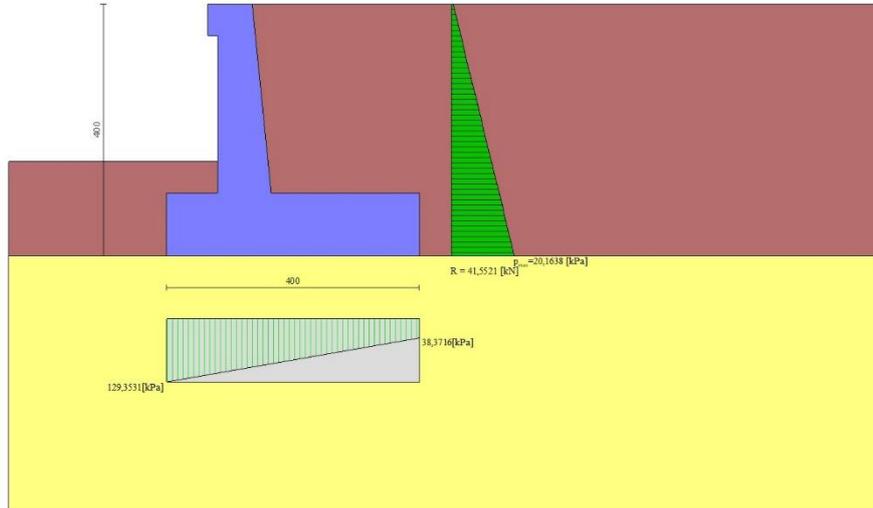


Fig. 4 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	Mr [kNm]	Ms [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362
2 - GEO (A2-M2-R2)	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362
3 - EQU (A1-M1-R3)	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362
4 - ECC	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362

### Verifiche geotecniche

#### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.338		3.602			
2 - GEO (A2-M2-R2)					3.105		
3 - EQU (A1-M1-R3)			3.599				

### Verifica a scorrimento fondazione

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kN]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kN]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kN]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kN]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kN]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kN]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa [kN]	Rpt [kN]	Rps [kN]	Rp [kN]	Rt [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	163,59	0,00	0,00	--	--	163,59	69,96	2.338

### Verifica a carico limite

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kN]
Qu	carico limite del terreno, espresso in [kN]
Qd	Portanza di progetto, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limite e carico agente al piano di posa)

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	335,40	1208,07	862,91	3.602

### Dettagli calcolo portanza

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante
ic, iq, iy	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, dy	Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, gy	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, by	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, sy	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, py	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re	Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc	Indici di rigidità per punzonamento secondo Vesic
ry	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B_y N_y$ viene moltiplicato per questo fattore
D	Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B'	Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H	Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ	Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
φ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c	Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]

Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	Ir	Irc	Re	ry
1	22.254 11.854 8.002	0.755 0.755 0.299	1.120 1.060 1.060	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.699	0.925

n°	D [m]	B' [m]	H [m]	γ [°]	φ [kN/mc]	c [kPa]
1	1,50	4,00	3,20	17,39	26,00	5

### Verifica a ribaltamento

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
3 - EQU (A1-M1-R3)	760,86	211,42	3.599

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

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

Ic	C [m]	R [m]	FS
2 - GEO (A2-M2-R2)	-0,50; 2,00	6,79	3.105

### Dettagli strisce verifiche stabilità

#### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte  
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto  
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

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

#### Combinazione n° 2 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	5,14	1,16	0,00	6,00 - 0,46	67.332	35.000	0	0,0	
2	13,85	1,16	0,00	0,46	58.933	35.000	0	0,0	
3	20,16	1,16	0,00	0,46	51.962	35.000	0	0,0	
4	25,13	1,16	0,00	0,46	45.969	35.000	0	0,0	
5	29,19	1,16	0,00	0,46	40.576	35.000	0	0,0	
6	32,57	1,16	0,00	0,46	35.593	35.000	0	0,0	
7	35,39	1,16	0,00	0,46	30.905	35.000	0	0,0	
8	36,50	1,16	0,00	0,46	26.439	26.000	5	0,0	
9	41,74	1,16	0,00	0,46	22.141	26.000	5	0,0	
10	43,16	1,16	0,00	0,46	17.971	26.000	5	0,0	
11	44,26	1,16	0,00	0,46	13.897	26.000	5	0,0	
12	45,08	1,16	0,00	0,46	9.895	26.000	5	0,0	
13	48,31	1,08	0,00	0,46	5.941	26.000	5	0,0	
14	52,84	0,00	0,00	0,46	2.016	26.000	5	0,0	
15	24,74	0,00	0,00	0,46	-1.900	26.000	5	0,0	
16	26,04	0,00	0,00	0,46	-5.825	26.000	5	0,0	
17	19,61	0,00	0,00	0,46	-9.778	26.000	5	0,0	
18	18,80	0,00	0,00	0,46	-13.779	26.000	5	0,0	
19	17,70	0,00	0,00	0,46	-17.849	26.000	5	0,0	
20	16,30	0,00	0,00	0,46	-22.016	26.000	5	0,0	
21	14,56	0,00	0,00	0,46	-26.310	26.000	5	0,0	
22	12,29	0,00	0,00	0,46	-30.771	35.000	0	0,0	
23	9,49	0,00	0,00	0,46	-35.451	35.000	0	0,0	
24	6,13	0,00	0,00	0,46	-40.424	35.000	0	0,0	
25	2,09	0,00	0,00	-5,59 - 0,46	-45.008	35.000	0	0,0	

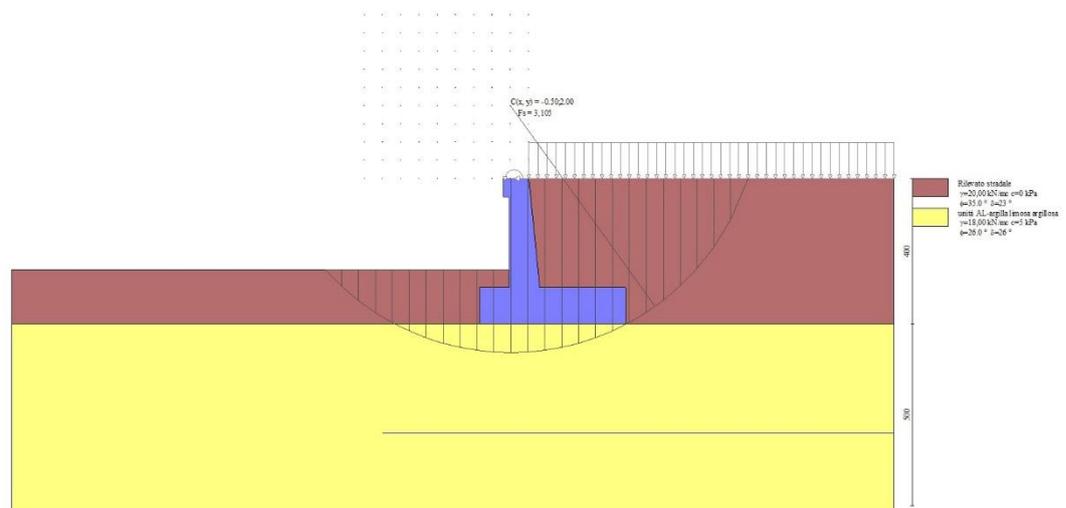


Fig. 5 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 2)

### Sollecitazioni

#### Elementi calcolati a trave

#### Simbologia adottata

N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.  
T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle

M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

*Paramento*

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,88	31,81	31,95
2	-0,10	3,26	31,90	35,14
3	-0,20	4,67	32,04	38,35
4	-0,30	6,11	32,22	41,58
5	-0,40	7,57	32,46	44,83
6	-0,50	9,06	32,75	48,13
7	-0,60	10,57	33,09	51,46
8	-0,70	12,11	33,47	54,83
9	-0,80	13,67	33,91	58,26
10	-0,90	15,26	34,40	61,73
11	-1,00	16,87	34,94	65,27
12	-1,10	18,51	35,52	68,87
13	-1,20	20,17	36,16	72,54
14	-1,30	21,86	36,85	76,29
15	-1,40	23,57	37,58	80,11
16	-1,50	25,31	38,37	84,02
17	-1,60	27,07	39,21	88,02
18	-1,70	28,86	40,09	92,12
19	-1,80	30,67	41,03	96,31
20	-1,90	32,50	42,02	100,61
21	-2,00	34,37	43,05	105,02
22	-2,10	36,25	44,14	109,55
23	-2,20	38,16	45,28	114,20
24	-2,30	40,10	46,47	118,97
25	-2,40	42,06	47,70	123,87
26	-2,50	44,05	48,99	128,91
27	-2,60	46,06	50,33	134,09
28	-2,70	48,10	51,71	139,42
29	-2,80	50,16	53,15	144,90
30	-2,90	52,24	54,63	150,53
31	-3,00	54,35	56,17	156,33

Combinazione n° 4 - ECC

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,88	31,81	31,95
2	-0,10	3,26	31,90	35,14
3	-0,20	4,67	32,04	38,35
4	-0,30	6,11	32,22	41,58
5	-0,40	7,57	32,46	44,83
6	-0,50	9,06	32,75	48,13
7	-0,60	10,57	33,09	51,46
8	-0,70	12,11	33,47	54,83
9	-0,80	13,67	33,91	58,26
10	-0,90	15,26	34,40	61,73
11	-1,00	16,87	34,94	65,27
12	-1,10	18,51	35,52	68,87
13	-1,20	20,17	36,16	72,54
14	-1,30	21,86	36,85	76,29
15	-1,40	23,57	37,58	80,11
16	-1,50	25,31	38,37	84,02
17	-1,60	27,07	39,21	88,02
18	-1,70	28,86	40,09	92,12
19	-1,80	30,67	41,03	96,31
20	-1,90	32,50	42,02	100,61
21	-2,00	34,37	43,05	105,02
22	-2,10	36,25	44,14	109,55
23	-2,20	38,16	45,28	114,20
24	-2,30	40,10	46,47	118,97
25	-2,40	42,06	47,70	123,87
26	-2,50	44,05	48,99	128,91
27	-2,60	46,06	50,33	134,09
28	-2,70	48,10	51,71	139,42
29	-2,80	50,16	53,15	144,90
30	-2,90	52,24	54,63	150,53
31	-3,00	54,35	56,17	156,33

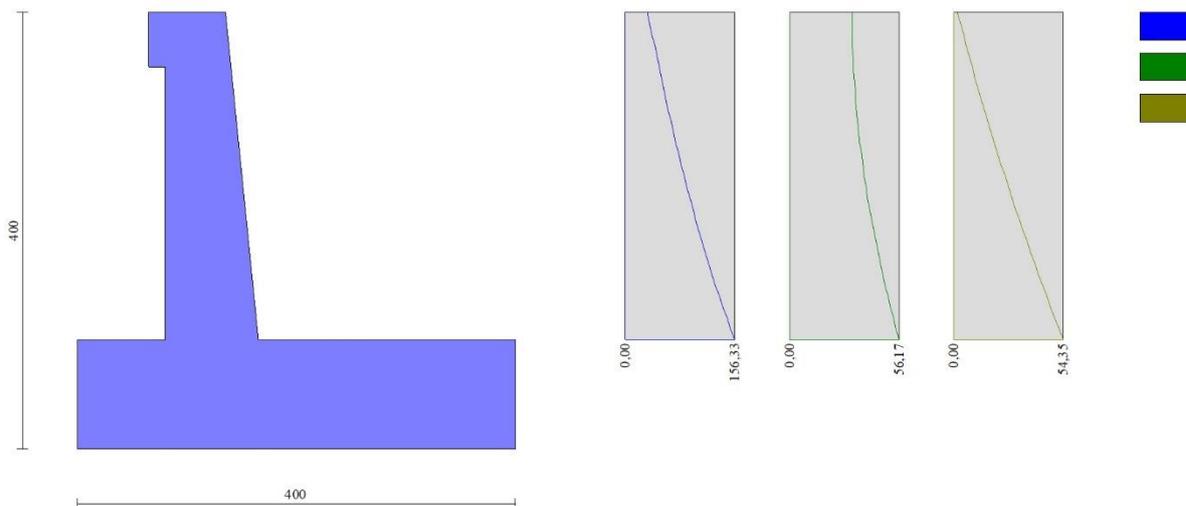


Fig. 6 - Paramento (Inviluppo)

**Fondazione**

**Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)**

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	9,42	0,47
3	-1,15	0,00	18,62	1,88
4	-1,05	0,00	27,58	4,19
5	-0,95	0,00	36,32	7,39
6	-0,85	0,00	44,83	11,45
7	-0,75	0,00	53,12	16,34
8	-0,65	0,00	61,17	22,06
9	-0,55	0,00	69,00	28,57
10	0,30	0,00	-52,64	-86,45
11	0,40	0,00	-52,95	-81,28
12	0,50	0,00	-53,05	-76,09
13	0,59	0,00	-52,93	-70,90
14	0,69	0,00	-52,59	-65,73
15	0,79	0,00	-52,03	-60,61
16	0,89	0,00	-51,26	-55,55
17	0,98	0,00	-50,26	-50,58
18	1,08	0,00	-49,05	-45,71
19	1,18	0,00	-47,62	-40,98
20	1,28	0,00	-45,97	-36,39
21	1,38	0,00	-44,11	-31,98
22	1,47	0,00	-42,02	-27,76
23	1,57	0,00	-39,72	-23,76
24	1,67	0,00	-37,20	-19,99
25	1,77	0,00	-34,46	-16,48
26	1,87	0,00	-31,50	-13,25
27	1,96	0,00	-28,33	-10,32
28	2,06	0,00	-24,94	-7,71
29	2,16	0,00	-21,33	-5,44
30	2,26	0,00	-17,50	-3,54
31	2,36	0,00	-13,45	-2,02
32	2,45	0,00	-9,18	-0,91
33	2,55	0,00	-4,70	-0,23
34	2,65	0,00	0,00	0,00

**Combinazione n° 4 - ECC**

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	9,42	0,47
3	-1,15	0,00	18,62	1,88
4	-1,05	0,00	27,58	4,19
5	-0,95	0,00	36,32	7,39
6	-0,85	0,00	44,83	11,45
7	-0,75	0,00	53,12	16,34
8	-0,65	0,00	61,17	22,06
9	-0,55	0,00	69,00	28,57

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
10	0,30	0,00	-52,64	-86,45
11	0,40	0,00	-52,95	-81,28
12	0,50	0,00	-53,05	-76,09
13	0,59	0,00	-52,93	-70,90
14	0,69	0,00	-52,59	-65,73
15	0,79	0,00	-52,03	-60,61
16	0,89	0,00	-51,26	-55,55
17	0,98	0,00	-50,26	-50,58
18	1,08	0,00	-49,05	-45,71
19	1,18	0,00	-47,62	-40,98
20	1,28	0,00	-45,97	-36,39
21	1,38	0,00	-44,11	-31,98
22	1,47	0,00	-42,02	-27,76
23	1,57	0,00	-39,72	-23,76
24	1,67	0,00	-37,20	-19,99
25	1,77	0,00	-34,46	-16,48
26	1,87	0,00	-31,50	-13,25
27	1,96	0,00	-28,33	-10,32
28	2,06	0,00	-24,94	-7,71
29	2,16	0,00	-21,33	-5,44
30	2,26	0,00	-17,50	-3,54
31	2,36	0,00	-13,45	-2,02
32	2,45	0,00	-9,18	-0,91
33	2,55	0,00	-4,70	-0,23
34	2,65	0,00	0,00	0,00

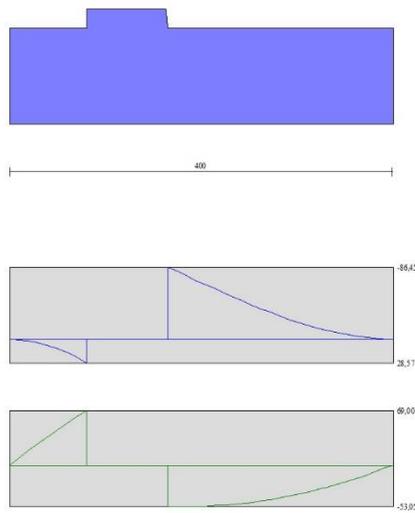


Fig. 7 - Fondazione (Inviluppo)

## Risultati per involucro

### Spinta e forze

#### Simbologia adottata

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	Cx [kN]	Cy [kN]	Px [m]	Py [m]
1	Spinta statica	41,55	23,33	38,15	16,46	2,65	-2,63
	Peso/Inerzia muro			0,00	154,34/0,00	0,35	-2,82
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	156,61/0,00	1,40	-1,47
	Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle			0,00	8,00	-0,95	-2,75
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0,00	0,00	0,00
	Risultante forze sul muro			31,81	0,00	--	--

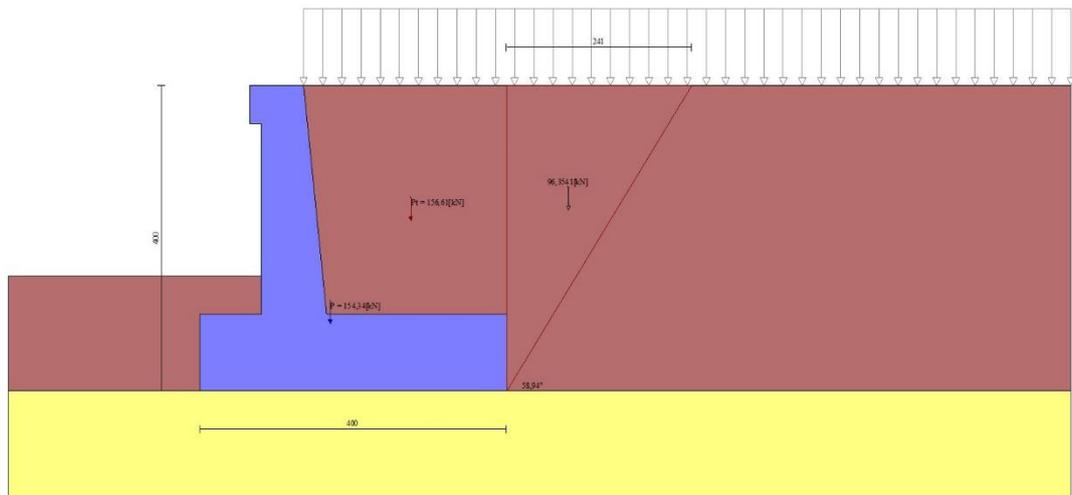


Fig. 8 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

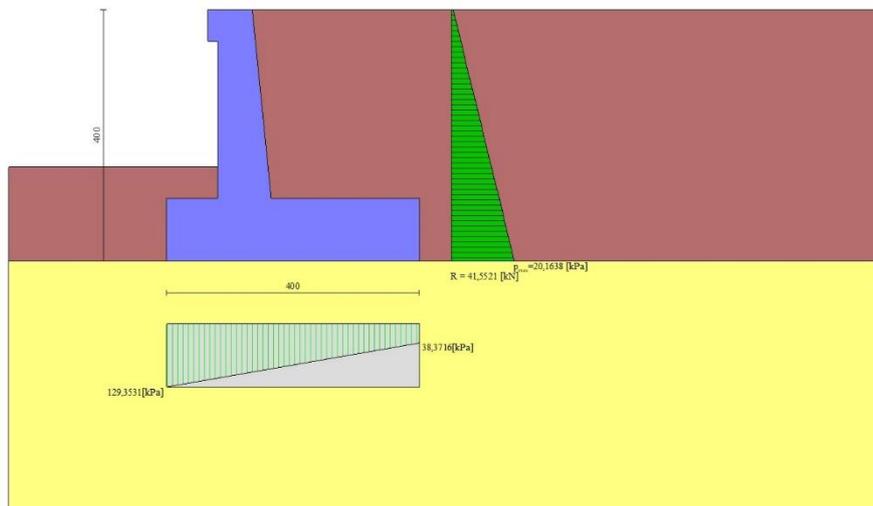


Fig. 9 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
M <sub>r</sub>	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
M <sub>s</sub>	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	M <sub>r</sub> [kNm]	M <sub>s</sub> [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362
2 - GEO (A2-M2-R2)	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362
3 - EQU (A1-M1-R3)	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362
4 - ECC	335,40	69,96	211,42	760,86	0,362

### Verifiche geotecniche

#### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>SUPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		2.338		3.602			
2 - GEO (A2-M2-R2)					3.105		
3 - EQU (A1-M1-R3)			3.599				

#### Verifica a scorrimento fondazione

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
R <sub>sa</sub>	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kN]
R <sub>pt</sub>	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kN]
R <sub>ps</sub>	Resistenza passiva sperone, espresso in [kN]
R <sub>p</sub>	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kN]
R <sub>t</sub>	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kN]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di R <sub>sa</sub> +R <sub>pt</sub> +R <sub>ps</sub> +R <sub>p</sub> ), espresso in [kN]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	R <sub>sa</sub> [kN]	R <sub>pt</sub> [kN]	R <sub>ps</sub> [kN]	R <sub>p</sub> [kN]	R <sub>t</sub> [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	163,59	0,00	0,00	--	--	163,59	69,96	2.338

#### Verifica a carico limite

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kN]
Q <sub>u</sub>	carico limite del terreno, espresso in [kN]
Q <sub>d</sub>	Portanza di progetto, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limite e carico agente al piano di posa)

n°	N [kN]	Q <sub>u</sub> [kN]	Q <sub>d</sub> [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	335,40	1208,07	862,91	3.602

### Dettagli calcolo portanza

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N <sub>c</sub> , N <sub>q</sub> , N <sub>γ</sub>	Fattori di capacità portante
i <sub>c</sub> , i <sub>q</sub> , i <sub>γ</sub>	Fattori di inclinazione del carico
d <sub>c</sub> , d <sub>q</sub> , d <sub>γ</sub>	Fattori di profondità del piano di posa

gc, gq, g <sub>γ</sub>	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, b <sub>γ</sub>	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, s <sub>γ</sub>	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, p <sub>γ</sub>	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re	Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc	Indici di rigidità per punzonamento secondo Vesic
r <sub>γ</sub>	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5B <sub>γ</sub> N <sub>γ</sub> viene moltiplicato per questo fattore
D	Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B'	Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H	Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ	Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]
φ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c	Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]

Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	Ir	Irc	Re	r <sub>γ</sub>
1	22.254 11.854 8.002	0.755 0.755 0.299	1.120 1.060 1.060	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.699	0.925

n°	D	B'	H	γ	φ	c
	[m]	[m]	[m]	[°]	[kN/mc]	[kPa]
1	1,50	4,00	3,20	17,39	26,00	5

### Verifica a ribaltamento

#### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms	Mr	FS
	[kNm]	[kNm]	
3 - EQU (A1-M1-R3)	760,86	211,42	3.599

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
2 - GEO (A2-M2-R2)	-0,50; 2,00	6,79	3.105

### Dettagli strisce verifiche stabilità

#### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte	
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto	
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)	
W	peso della striscia espresso in [kN]
Qy	carico sulla striscia espresso in [kN]
Qf	carico acqua sulla striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
Tx; Ty	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

n°	W	Qy	Qf	b	α	φ	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	5,14	1,16	0,00	6,00 - 0,46	67.332	35.000	0	0,0	
2	13,85	1,16	0,00	0,46	58.933	35.000	0	0,0	
3	20,16	1,16	0,00	0,46	51.962	35.000	0	0,0	
4	25,13	1,16	0,00	0,46	45.969	35.000	0	0,0	
5	29,19	1,16	0,00	0,46	40.576	35.000	0	0,0	
6	32,57	1,16	0,00	0,46	35.593	35.000	0	0,0	
7	35,39	1,16	0,00	0,46	30.905	35.000	0	0,0	
8	36,50	1,16	0,00	0,46	26.439	26.000	5	0,0	
9	41,74	1,16	0,00	0,46	22.141	26.000	5	0,0	
10	43,16	1,16	0,00	0,46	17.971	26.000	5	0,0	
11	44,26	1,16	0,00	0,46	13.897	26.000	5	0,0	
12	45,08	1,16	0,00	0,46	9.895	26.000	5	0,0	

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
13	48,31	1,08	0,00	0,46	5.941	26.000	5	0,0	
14	52,84	0,00	0,00	0,46	2.016	26.000	5	0,0	
15	24,74	0,00	0,00	0,46	-1.900	26.000	5	0,0	
16	26,04	0,00	0,00	0,46	-5.825	26.000	5	0,0	
17	19,61	0,00	0,00	0,46	-9.778	26.000	5	0,0	
18	18,80	0,00	0,00	0,46	-13.779	26.000	5	0,0	
19	17,70	0,00	0,00	0,46	-17.849	26.000	5	0,0	
20	16,30	0,00	0,00	0,46	-22.016	26.000	5	0,0	
21	14,56	0,00	0,00	0,46	-26.310	26.000	5	0,0	
22	12,29	0,00	0,00	0,46	-30.771	35.000	0	0,0	
23	9,49	0,00	0,00	0,46	-35.451	35.000	0	0,0	
24	6,13	0,00	0,00	0,46	-40.424	35.000	0	0,0	
25	2,09	0,00	0,00	-5,59 - 0,46	-45.008	35.000	0	0,0	

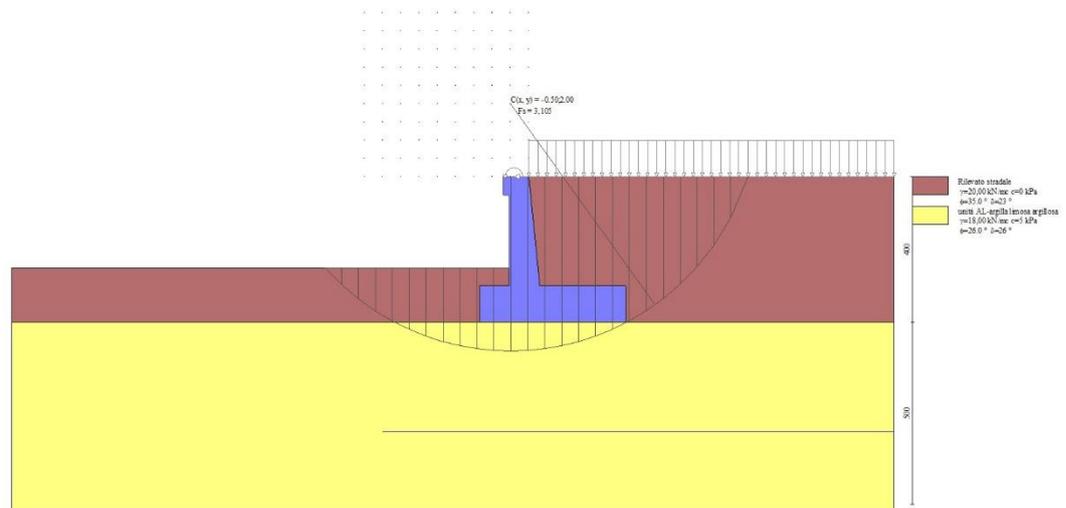


Fig. 10 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 2)

### Sollecitazioni

#### Elementi calcolati a trave

#### Simbologia adottata

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

### Paramento

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	0,00	1,88	1,88	31,81	31,81	31,95	31,95
2	-0,10	3,26	3,26	31,90	31,90	35,14	35,14
3	-0,20	4,67	4,67	32,04	32,04	38,35	38,35
4	-0,30	6,11	6,11	32,22	32,22	41,58	41,58
5	-0,40	7,57	7,57	32,46	32,46	44,83	44,83
6	-0,50	9,06	9,06	32,75	32,75	48,13	48,13
7	-0,60	10,57	10,57	33,09	33,09	51,46	51,46
8	-0,70	12,11	12,11	33,47	33,47	54,83	54,83
9	-0,80	13,67	13,67	33,91	33,91	58,26	58,26
10	-0,90	15,26	15,26	34,40	34,40	61,73	61,73
11	-1,00	16,87	16,87	34,94	34,94	65,27	65,27
12	-1,10	18,51	18,51	35,52	35,52	68,87	68,87
13	-1,20	20,17	20,17	36,16	36,16	72,54	72,54
14	-1,30	21,86	21,86	36,85	36,85	76,29	76,29
15	-1,40	23,57	23,57	37,58	37,58	80,11	80,11
16	-1,50	25,31	25,31	38,37	38,37	84,02	84,02
17	-1,60	27,07	27,07	39,21	39,21	88,02	88,02
18	-1,70	28,86	28,86	40,09	40,09	92,12	92,12
19	-1,80	30,67	30,67	41,03	41,03	96,31	96,31
20	-1,90	32,50	32,50	42,02	42,02	100,61	100,61
21	-2,00	34,37	34,37	43,05	43,05	105,02	105,02
22	-2,10	36,25	36,25	44,14	44,14	109,55	109,55
23	-2,20	38,16	38,16	45,28	45,28	114,20	114,20

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
24	-2,30	40,10	40,10	46,47	46,47	118,97	118,97
25	-2,40	42,06	42,06	47,70	47,70	123,87	123,87
26	-2,50	44,05	44,05	48,99	48,99	128,91	128,91
27	-2,60	46,06	46,06	50,33	50,33	134,09	134,09
28	-2,70	48,10	48,10	51,71	51,71	139,42	139,42
29	-2,80	50,16	50,16	53,15	53,15	144,90	144,90
30	-2,90	52,24	52,24	54,63	54,63	150,53	150,53
31	-3,00	54,35	54,35	56,17	56,17	156,33	156,33

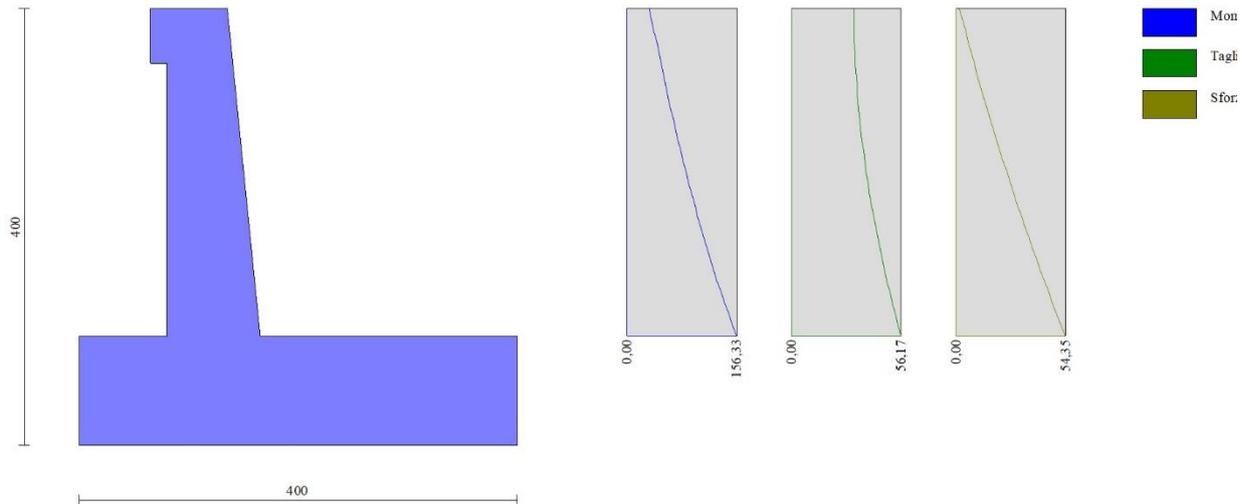


Fig. 11 - Paramento

**Fondazione**

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	-1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	-1,25	0,00	0,00	9,42	9,42	0,47	0,47
3	-1,15	0,00	0,00	18,62	18,62	1,88	1,88
4	-1,05	0,00	0,00	27,58	27,58	4,19	4,19
5	-0,95	0,00	0,00	36,32	36,32	7,39	7,39
6	-0,85	0,00	0,00	44,83	44,83	11,45	11,45
7	-0,75	0,00	0,00	53,12	53,12	16,34	16,34
8	-0,65	0,00	0,00	61,17	61,17	22,06	22,06
9	-0,55	0,00	0,00	69,00	69,00	28,57	28,57
10	0,30	0,00	0,00	-52,64	-52,64	-86,45	-86,45
11	0,40	0,00	0,00	-52,95	-52,95	-81,28	-81,28
12	0,50	0,00	0,00	-53,05	-53,05	-76,09	-76,09
13	0,59	0,00	0,00	-52,93	-52,93	-70,90	-70,90
14	0,69	0,00	0,00	-52,59	-52,59	-65,73	-65,73
15	0,79	0,00	0,00	-52,03	-52,03	-60,61	-60,61
16	0,89	0,00	0,00	-51,26	-51,26	-55,55	-55,55
17	0,98	0,00	0,00	-50,26	-50,26	-50,58	-50,58
18	1,08	0,00	0,00	-49,05	-49,05	-45,71	-45,71
19	1,18	0,00	0,00	-47,62	-47,62	-40,98	-40,98
20	1,28	0,00	0,00	-45,97	-45,97	-36,39	-36,39
21	1,38	0,00	0,00	-44,11	-44,11	-31,98	-31,98
22	1,47	0,00	0,00	-42,02	-42,02	-27,76	-27,76
23	1,57	0,00	0,00	-39,72	-39,72	-23,76	-23,76
24	1,67	0,00	0,00	-37,20	-37,20	-19,99	-19,99
25	1,77	0,00	0,00	-34,46	-34,46	-16,48	-16,48
26	1,87	0,00	0,00	-31,50	-31,50	-13,25	-13,25
27	1,96	0,00	0,00	-28,33	-28,33	-10,32	-10,32
28	2,06	0,00	0,00	-24,94	-24,94	-7,71	-7,71
29	2,16	0,00	0,00	-21,33	-21,33	-5,44	-5,44
30	2,26	0,00	0,00	-17,50	-17,50	-3,54	-3,54
31	2,36	0,00	0,00	-13,45	-13,45	-2,02	-2,02
32	2,45	0,00	0,00	-9,18	-9,18	-0,91	-0,91
33	2,55	0,00	0,00	-4,70	-4,70	-0,23	-0,23
34	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

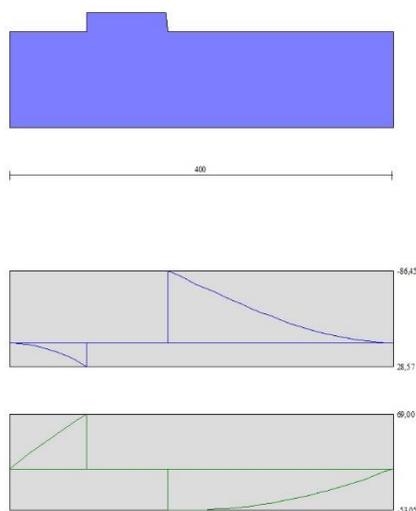


Fig. 12 - Fondazione

## 10.2 MURO TIPOLOGICO 03 su 2 pali (Hparamento=4m)

### 10.2.1 Combinazione statica

#### Dati

#### Materiali

##### Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descr	Descrizione del materiale
<b>Calcestruzzo armato</b>	
C	Classe di resistenza del cls
A	Classe di resistenza dell'acciaio
$\gamma$	Peso specifico, espresso in [kN/mc]
R <sub>ck</sub>	Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kPa]
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
$\nu$	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc	Coeff. di omogenizzazione cls teso/compresso

#### Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	$\gamma$ [kN/mc]	R <sub>ck</sub> [kPa]	E [kPa]	$\nu$	n	ntc
1	C32/40	C32/40	B450C	24,5170	40000	33642648	0.30	15.00	0.50
2	Materiale tiranti	Rck 250	Precomp	24,5170	24517	30073438	0.30	15.00	0.50

#### Acciai

Descr	f <sub>yk</sub> [kPa]	f <sub>uk</sub> [kPa]
B450C	450000	540000

#### Tipologie pali

##### Simbologia adottata

n°	Indice tipologia palo
Descr	Descrizione tipologia palo
P	Contributo portanza palo (laterale e/o punta)

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

n°	Descr	P	T	V	Imat	BD	PN	Pp	PI
1	Palo	Laterale + Punta	Trivellato	Cerniera	1	NO	SI	10000,00	10000,00

### Geometria profilo terreno a monte del muro

#### Simbologia adottata

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

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

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	0,00	0,00	0.000
2	15,00	0,00	0.000

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

### Falda

#### Simbologia adottata

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

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

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-4,50	-11,00	0.000
2	15,00	-11,00	0.000

### Geometria muro

#### *Geometria paramento e fondazione*

Lunghezza muro 3,00 [m]

#### Paramento

Materiale	C32/40	
Altezza paramento	4,00	[m]
Altezza paramento libero	4,50	[m]
Spessore in sommità	0,50	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0,90	[m]
Inclinazione paramento esterno	0,00	[°]
Inclinazione paramento interno	5,70	[°]

#### Mensola di marciapiede

Posizione rispetto alla testa del muro	0,00	[m]
Lunghezza	0,15	[m]
Spessore all'estremità libera	0,50	[m]
Spessore all'incastro	0,50	[m]

#### Fondazione

Materiale	C32/40	
Lunghezza mensola di valle	1,40	[m]
Lunghezza mensola di monte	2,30	[m]
Lunghezza totale	4,60	[m]
Inclinazione piano di posa	0,00	[°]
Spessore	1,00	[m]
Spessore magrone	0,00	[m]

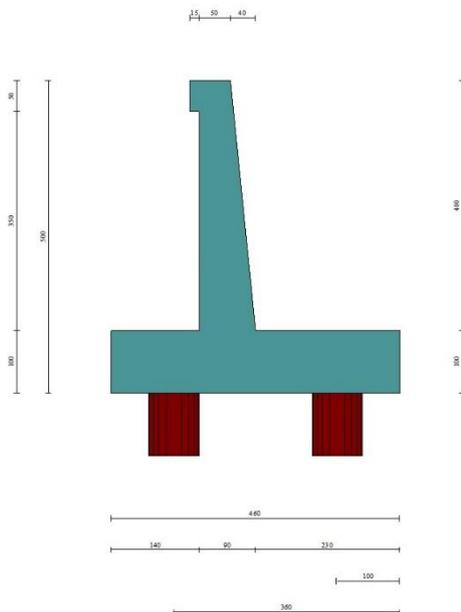


Fig. 1 - Sezione quotata del muro

### Descrizione pali di fondazione

#### Simbologia adottata

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

n°	Tipologia	X [m]	I [m]	f [m]	Np	D [cm]	L [m]	$\alpha$ [°]	ALL
1	Palo	1,00	2,60	0,20	1	80,00	20,00	0,00	Centrati
2	Palo	3,60	2,60	0,20	1	80,00	20,00	0,00	Centrati

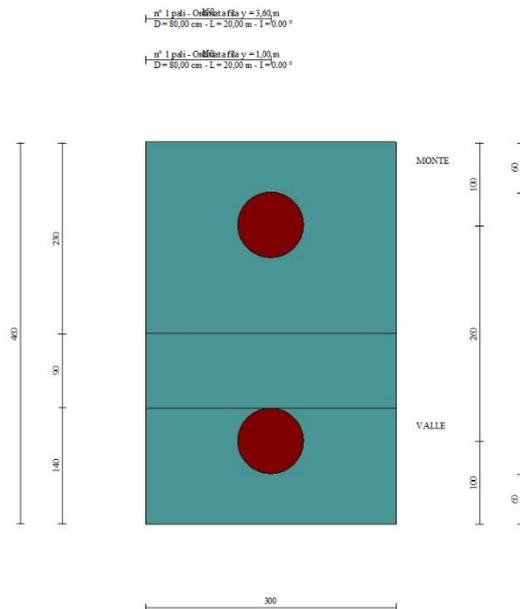


Fig. 2 - Pianta pali

### Descrizione terreni

### Parametri di resistenza

#### Simbologia adottata

$n^{\circ}$	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_{\text{sat}}$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kPa]
$c_a$	Adesione terra-muro espressa in [kPa]
<u>Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix</u>	
Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
$\tau_l$	Tensione tangenziale limite, espressa in [kPa]

$n^{\circ}$	Descr	$\gamma$ [kN/mc]	$\gamma_{\text{sat}}$ [kN/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kPa]	$c_a$ [kPa]	Cesp	$\tau_l$ [kPa]	
1	AL-argilla limosa alluvionale	16,0000	16,0000	26.000	26.000	5	0	1.000		0 (CAR)
				26.000	26.000	5	0			0 (MIN)
				26.000	26.000	5	0			0 (MED)
2	rilevato stradale	18,0000	18,0000	35.000	23.330	0	0	1.000		0 (CAR)
				35.000	23.333	0	0			0 (MIN)
				35.000	23.333	0	0			0 (MED)
3	CL- limo sabbioso argilloso	18,0000	18,0000	29.000	29.000	5	0	1.000		0 (CAR)
				29.000	29.000	5	0			0 (MIN)
				29.000	29.000	5	0			0 (MED)
4	FC- argilla limosa giallognola	19,0000	19,0000	25.000	25.000	5	0	1.000		0 (CAR)
				25.000	25.000	5	0			0 (MIN)
				25.000	25.000	5	0			0 (MED)

### Stratigrafia

#### Simbologia adottata

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

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')  
 $K_{\text{ststa}}$ ,  $K_{\text{stsis}}$  Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H [m]	$\alpha$ [°]	Terreno	Kwn [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Kwt [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Kw [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Ks	Cesp	Kst <sub>sta</sub>	Kst <sub>sis</sub>
1	5,00	0.000	rilevato stradale	0.000	0.000	1,000	0,500	1,000	---	---
2	5,00	0.000	AL-argilla limosa alluvionale	0.000	0.000	10,000	0,500	1,000	---	---
3	5,00	0.000	CL- limo sabbioso argilloso	0.000	0.000	10,000	0,000	1,000	---	---
4	11,00	0.000	FC- argilla limosa giallognola	0.000	0.000	10,000	0,000	1,000	---	---

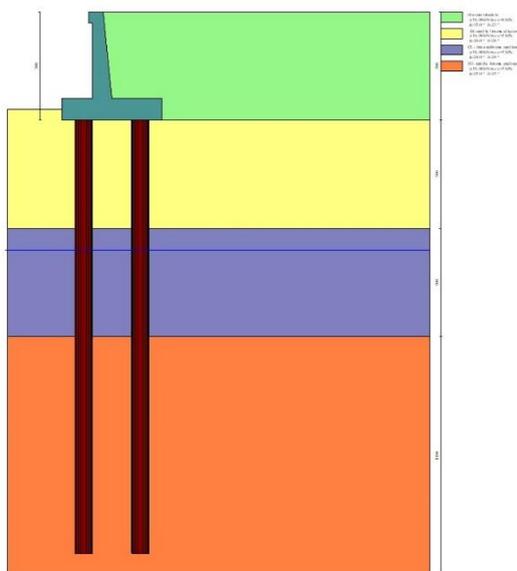


Fig. 3 - Stratigrafia

### Condizioni di carico

#### Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F <sub>x</sub>	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
F <sub>y</sub>	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M	Momento espresso in [kNm]
X <sub>i</sub>	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
X <sub>f</sub>	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Q <sub>i</sub>	Intensità del carico per x=X <sub>i</sub> espressa in [kN]
Q <sub>f</sub>	Intensità del carico per x=X <sub>f</sub> espressa in [kN]

#### Condizione n° 1 (traffico veicolare) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione  $\Psi_0=0.75 - \Psi_1=0.75 - \Psi_2=0.00$

#### Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	M [kNm]	X <sub>i</sub> [m]	X <sub>f</sub> [m]	Q <sub>i</sub> [kN]	Q <sub>f</sub> [kN]
1	Distribuito					0,00	12,00	20,000	20,000

#### Condizione n° 2 (pavimentazione) - PERMANENTE NS

#### Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	F <sub>x</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	M [kNm]	X <sub>i</sub> [m]	X <sub>f</sub> [m]	Q <sub>i</sub> [kN]	Q <sub>f</sub> [kN]
1	Distribuito					0,00	12,00	2,500	2,500

### Normativa

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

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

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

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Coeff. parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

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

Carichi verticali. Coeff. parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	$\gamma_b$	--	--	1.15	--	--	1.35	--	--	1.30
Laterale compressione	$\gamma_s$	--	--	1.15	--	--	1.15	--	--	1.15
Totale compressione	$\gamma_t$	--	--	1.15	--	--	1.30	--	--	1.25
Laterale trazione	$\gamma_{st}$	--	--	1.25	--	--	1.25	--	--	1.25

Carichi trasversali. Coeff. parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche

		R1	R2	R3
Trasversale	$\gamma_t$	--	--	1.30

Coefficienti di riduzione  $\zeta$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1

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

Descrizione combinazioni di carico

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

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

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

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{0,2} Q_{k2} + \Psi_{0,3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

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

- Combinazione quasi permanente, impiegata per gli effetti di lungo periodo:

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

I valori dei coeff.  $\Psi_{0,j}$ ,  $\Psi_{1,j}$ ,  $\Psi_{2,j}$  sono definiti nelle singole condizioni variabili, per i valori dei coeff.  $\gamma_G$  e  $\gamma_Q$ , sono definiti nella tabella normativa.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

Simbologia adottata

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione  
 $\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.50	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.30	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole
traffico veicolare	1.00	0.75	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - SLEQ

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
pavimentazione	1.00	--	Sfavorevole

Dati sismici

Comune	Roma
Provincia	Roma
Regione	Lazio
Latitudine	41.933189
Longitudine	12.601168
Indice punti di interpolazione	28292 - 28070 - 28069 - 28291
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	IV
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	100 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.645	0.769
Accelerazione al suolo	$a_g/g$	[%]	0.168	0.078
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.564	2.508
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.304	0.284
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		C	1.442
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	1.000	24.174	12.087
Ultimo - Ribaltamento	1.000	24.174	12.087
Esercizio	1.000	11.759	5.880

Nel calcolo non è stato portato in conto il sisma verticale  
Forma diagramma incremento sismico  **Rettangolare**

**Opzioni di calcolo**

Spinta

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

Stabilità globale

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

Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante	0.00
Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione	50.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni	NO
Considera terreno sulla fondazione di valle	NO
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle	NO

Spostamenti

Modello a blocchi	
Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti	
Spostamento limite	10,00 [cm]

Opzioni calcolo pali

*Portanza verticale*

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

*Portanza trasversale*

Costante di Winkler: da strato	criterio rottura palo-terreno
- Spostamento limite	Non attivo
- Pressione limite	Pressione passiva con moltiplicatore M=3,00
- Palo infinitamente elastico	Non attivo

*Cedimenti*

Metodo di calcolo	Metodo agli elementi finiti
Spostamento limite alla punta	1,00 [cm]
Spostamento limite laterale	0,50 [cm]

## Risultati per combinazione

### Spinta e forze

#### Simbologia adottata

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

Ic	A	V [kN]	I [°]	C <sub>x</sub> [kN]	C <sub>y</sub> [kN]	P <sub>x</sub> [m]	P <sub>y</sub> [m]
1	Spinta statica	150,08	23,33	137,81	59,43	2,70	-2,90
	Peso/Inerzia muro			0,00	183,21/0,00	0,19	-3,59
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	262,98/0,00	1,42	-1,93
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0,00	0,00	0,00
	Resistenza pali			-168,69			
3	Spinta statica	114,03	23,33	104,71	45,16	2,70	-2,90
	Peso/Inerzia muro			0,00	183,21/0,00	0,19	-3,59
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	240,71/0,00	1,42	-1,94
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0,00	0,00	0,00
	Resistenza pali			-219,30			
4	Spinta statica	107,92	23,33	99,10	42,74	2,70	-2,92
	Peso/Inerzia muro			0,00	183,21/0,00	0,19	-3,59
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	227,21/0,00	1,43	-1,94
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0,00	0,00	0,00
	Resistenza pali			-219,32			
5	Spinta statica	89,59	23,33	82,27	35,48	2,70	-3,01
	Peso/Inerzia muro			0,00	183,21/0,00	0,19	-3,59
	Peso/Inerzia terrapieno			0,00	186,72/0,00	1,44	-1,95
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0,00	0,00	0,00
	Resistenza pali			-219,31			

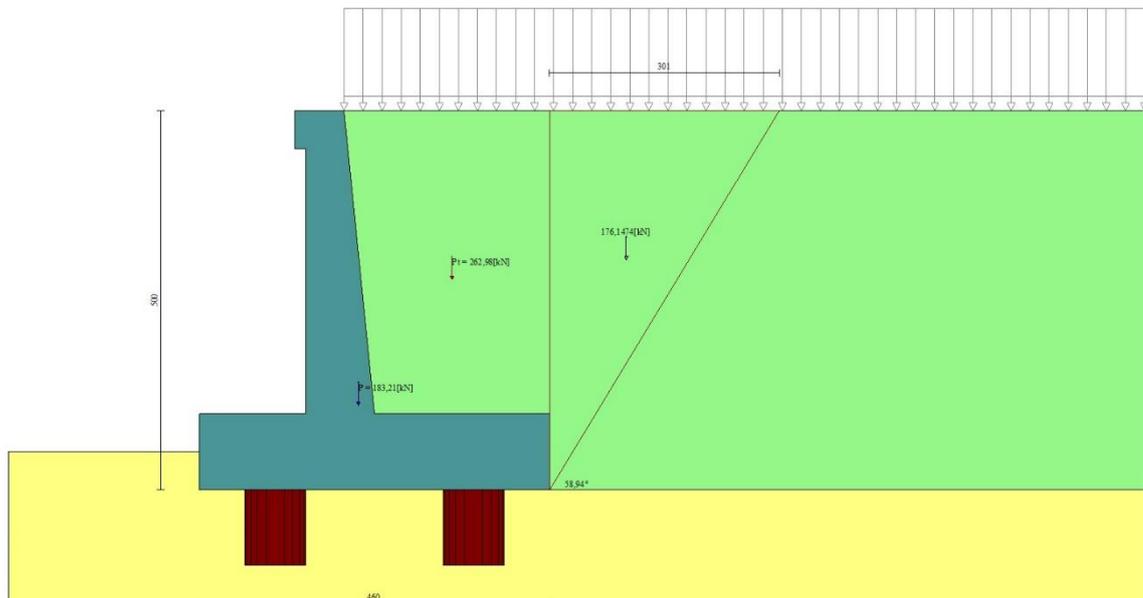


Fig. 4 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

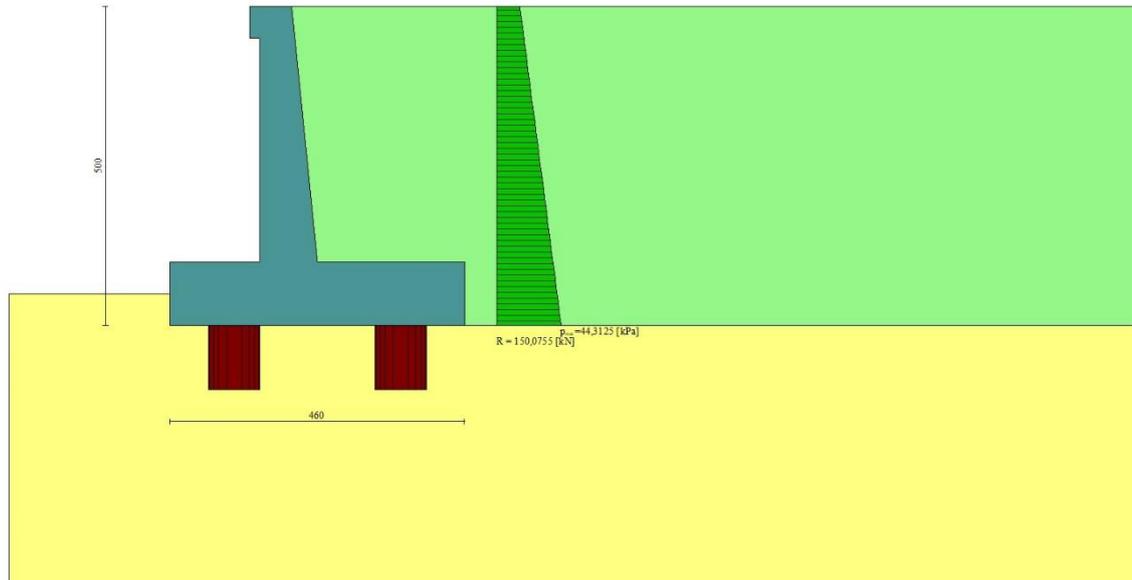


Fig. 5 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
M <sub>r</sub>	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
M <sub>s</sub>	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	M <sub>r</sub> [kNm]	M <sub>s</sub> [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	505,62	137,81	289,81	1528,67	-0,151
2 - GEO (A2-M2-R2)	480,62	135,01	283,23	1429,98	-0,086
3 - SLER	469,08	104,71	219,70	1390,44	-0,196
4 - SLEF	453,16	99,10	205,67	1335,32	-0,193
5 - SLEQ	405,41	82,27	163,59	1169,96	-0,183

### Scarichi in testa ai pali

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Ip	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	846,48	0,00	-206,70
	2	670,37	0,00	-206,70
3 - SLER	1	810,02	0,00	-157,05
	2	597,21	0,00	-157,05
4 - SLEF	1	780,96	0,00	-148,64
	2	578,52	0,00	-148,64
5 - SLEQ	1	693,76	0,00	-123,39
	2	522,47	0,00	-123,39

### Verifiche geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

### Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>SUPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		1.224					
2 - GEO (A2-M2-R2)					3.366		

### Verifica stabilità globale muro + terreno

### Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
2 - GEO (A2-M2-R2)	-3,50; 4,50	11,35	3.366

### Cedimenti pali

### Simbologia adottata

Ic	Indice combinazione
Ip	Indice palo
w	Cedimento, espresso in [cm]

Ic	Ip	w
		[cm]
3	1	0,1691
	2	0,1246
4	1	0,1630
	2	0,1207
5	1	0,1448
	2	0,1090

### Sollecitazioni

### Sollecitazioni pali

### Simbologia adottata

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

### Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

#### Palo n° 1

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	0,00	846,48	10127,38	-206,70	-328,94	0,00	0,00
13	2,40	874,52	10096,78	12,06	-91,96	298,76	592,02
22	4,20	893,52	10036,76	79,08	153,41	199,09	518,26
51	10,00	963,02	9999,89	-0,20	6,45	-12,25	-23,20
101	20,00	1086,26	9999,89	0,02	0,05	0,00	0,00

#### Palo n° 2

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	0,00	670,37	10127,35	-206,70	-328,94	0,00	0,00
13	2,40	698,66	10096,75	12,06	-91,96	298,76	592,02
22	4,20	718,17	10036,74	79,08	153,41	199,09	518,26
51	10,00	787,99	9999,86	-0,20	6,45	-12,25	-23,20
101	20,00	911,23	9999,86	0,02	0,05	0,00	0,00

Combinazione n° 3 - SLER

Palo n° 1

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	810,02	10127,47	-157,05	-328,95	0,00	0,00
12	2,20	835,88	10101,58	8,43	-124,26	195,40	567,21
21	4,00	855,17	10045,09	51,72	142,83	129,76	546,88
50	9,80	924,32	9999,98	-0,16	9,34	-8,01	-21,34
101	20,00	1050,02	9999,98	0,01	0,05	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	597,21	10127,34	-157,05	-328,95	0,00	0,00
12	2,20	623,32	10101,45	8,43	-124,26	195,40	567,21
21	4,00	643,19	10044,96	51,72	142,83	129,76	546,88
50	9,80	712,81	9999,85	-0,16	9,34	-8,01	-21,34
101	20,00	838,51	9999,85	0,01	0,05	0,00	0,00

Combinazione n° 4 - SLEF

Palo n° 1

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	780,96	10127,41	-148,64	-328,98	0,00	0,00
12	2,20	806,85	10101,52	9,64	-124,29	179,54	567,27
21	4,00	826,22	10045,03	47,52	142,84	117,62	546,98
50	9,80	895,43	9999,92	-0,23	9,34	-7,37	-21,34
101	20,00	1021,13	9999,92	0,01	0,05	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	578,52	10127,33	-148,64	-328,98	0,00	0,00
12	2,20	604,66	10101,44	9,64	-124,29	179,54	567,27
21	4,00	624,58	10044,96	47,52	142,84	117,62	546,98
50	9,80	694,24	9999,85	-0,23	9,34	-7,37	-21,34
101	20,00	819,94	9999,85	0,01	0,05	0,00	0,00

Combinazione n° 5 - SLEQ

Palo n° 1

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	693,76	10127,29	-123,39	-328,97	0,00	0,00
11	2,00	717,49	10105,72	2,41	-154,25	136,24	536,38
20	3,80	737,26	10052,76	36,06	128,21	93,40	572,57
50	9,80	808,77	9999,81	-0,31	9,34	-5,58	-21,34
101	20,00	934,47	9999,81	0,01	0,05	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	522,47	10127,39	-123,39	-328,97	0,00	0,00
11	2,00	546,37	10105,81	2,41	-154,25	136,24	536,38
20	3,80	566,58	10052,86	36,06	128,21	93,40	572,57
50	9,80	638,53	9999,90	-0,31	9,34	-5,58	-21,34
101	20,00	764,23	9999,90	0,01	0,05	0,00	0,00

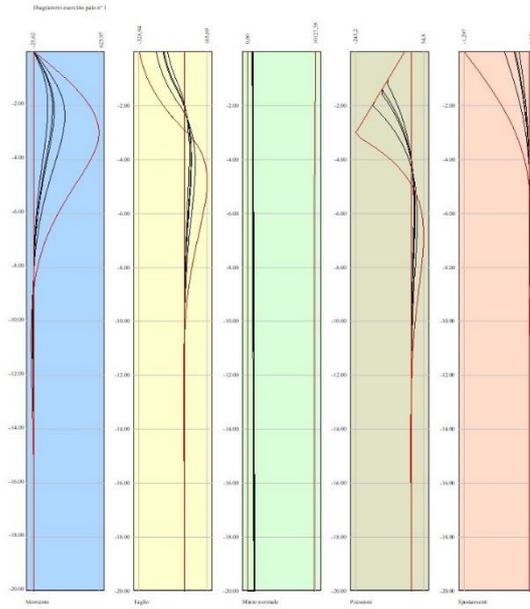


Fig. 6 - Sollecitazioni palo (Palo n° 1) (Involuppo)

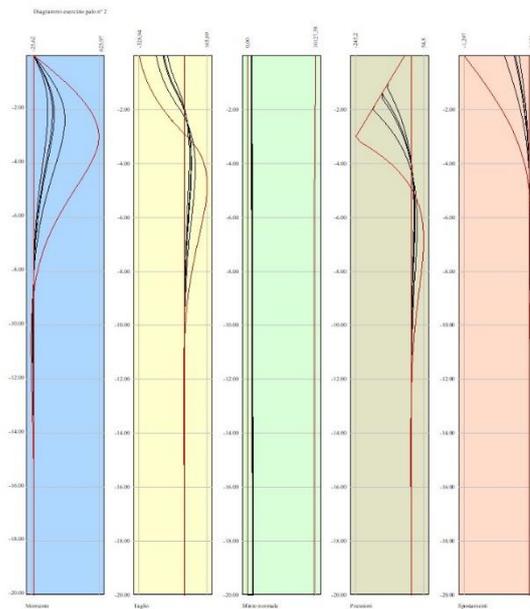


Fig. 7 - Sollecitazioni palo (Palo n° 2) (Involuppo)



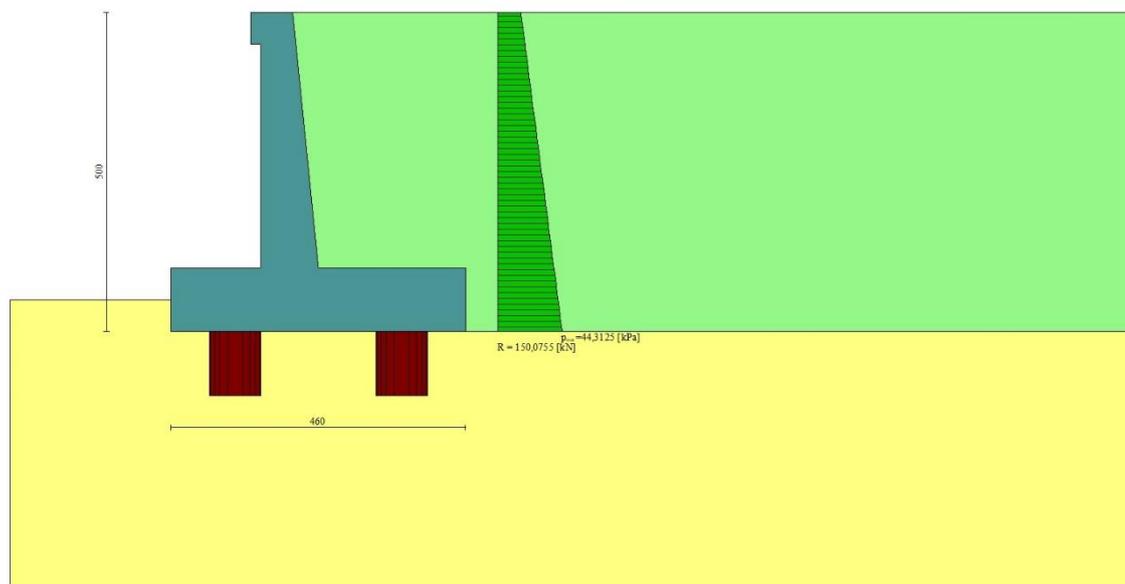


Fig. 9 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
M <sub>r</sub>	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
M <sub>s</sub>	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	M <sub>r</sub> [kNm]	M <sub>s</sub> [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	505,62	137,81	289,81	1528,67	-0,151
2 - GEO (A2-M2-R2)	480,62	135,01	283,23	1429,98	-0,086
3 - SLER	469,08	104,71	219,70	1390,44	-0,196
4 - SLEF	453,16	99,10	205,67	1335,32	-0,193
5 - SLEQ	405,41	82,27	163,59	1169,96	-0,183

### Scarichi in testa ai pali

#### Simbologia adottata

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

Cmb	I <sub>p</sub>	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	846,48	0,00	-206,70
	2	670,37	0,00	-206,70

### Verifiche geotecniche

#### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

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

FS<sub>UPL</sub>      Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)		1.224					
2 - GEO (A2-M2-R2)					3.366		

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

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

Ic	C	R	FS
	[m]	[m]	
2 - GEO (A2-M2-R2)	-3,50; 4,50	11,35	3.366

### Sollecitazioni

#### Sollecitazioni pali

##### Simbologia adottata

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

##### Palo n° 1

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	0,00	846,48	10127,38	-206,70	-328,94	0,00	0,00
13	2,40	874,52	10096,78	12,06	-91,96	298,76	592,02
22	4,20	893,52	10036,76	79,08	153,41	199,09	518,26
51	10,00	963,02	9999,89	-0,20	6,45	-12,25	-23,20
101	20,00	1086,26	9999,89	0,02	0,05	0,00	0,00

##### Palo n° 2

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	0,00	670,37	10127,35	-206,70	-328,94	0,00	0,00
13	2,40	698,66	10096,75	12,06	-91,96	298,76	592,02
22	4,20	718,17	10036,74	79,08	153,41	199,09	518,26
51	10,00	787,99	9999,86	-0,20	6,45	-12,25	-23,20
101	20,00	911,23	9999,86	0,02	0,05	0,00	0,00

##### Palo n° 1

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	0,00	810,02	10127,47	-157,05	-328,95	0,00	0,00
12	2,20	835,88	10101,58	8,43	-124,26	195,40	567,21
21	4,00	855,17	10045,09	51,72	142,83	129,76	546,88
50	9,80	924,32	9999,98	-0,16	9,34	-8,01	-21,34
101	20,00	1050,02	9999,98	0,01	0,05	0,00	0,00

##### Palo n° 2

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	0,00	597,21	10127,34	-157,05	-328,95	0,00	0,00
12	2,20	623,32	10101,45	8,43	-124,26	195,40	567,21
21	4,00	643,19	10044,96	51,72	142,83	129,76	546,88
50	9,80	712,81	9999,85	-0,16	9,34	-8,01	-21,34
101	20,00	838,51	9999,85	0,01	0,05	0,00	0,00

##### Palo n° 1

n°	Y	Ne	Nr	Te	Tr	Me	Mr
	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]
1	0,00	780,96	10127,41	-148,64	-328,98	0,00	0,00
12	2,20	806,85	10101,52	9,64	-124,29	179,54	567,27
21	4,00	826,22	10045,03	47,52	142,84	117,62	546,98
50	9,80	895,43	9999,92	-0,23	9,34	-7,37	-21,34
101	20,00	1021,13	9999,92	0,01	0,05	0,00	0,00

**Palo n° 2**

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	578,52	10127,33	-148,64	-328,98	0,00	0,00
12	2,20	604,66	10101,44	9,64	-124,29	179,54	567,27
21	4,00	624,58	10044,96	47,52	142,84	117,62	546,98
50	9,80	694,24	9999,85	-0,23	9,34	-7,37	-21,34
101	20,00	819,94	9999,85	0,01	0,05	0,00	0,00

**Palo n° 1**

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	693,76	10127,29	-123,39	-328,97	0,00	0,00
11	2,00	717,49	10105,72	2,41	-154,25	136,24	536,38
20	3,80	737,26	10052,76	36,06	128,21	93,40	572,57
50	9,80	808,77	9999,81	-0,31	9,34	-5,58	-21,34
101	20,00	934,47	9999,81	0,01	0,05	0,00	0,00

**Palo n° 2**

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	522,47	10127,39	-123,39	-328,97	0,00	0,00
11	2,00	546,37	10105,81	2,41	-154,25	136,24	536,38
20	3,80	566,58	10052,86	36,06	128,21	93,40	572,57
50	9,80	638,53	9999,90	-0,31	9,34	-5,58	-21,34
101	20,00	764,23	9999,90	0,01	0,05	0,00	0,00

10.2.2 Combinazione sismica

**Opzioni di calcolo**

Spinta

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

Stabilità globale

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

Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante	0.00
Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione	50.00
Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni	NO
Considera terreno sulla fondazione di valle	NO
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle	NO

Spostamenti

Modello a blocchi	
Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti	
Spostamento limite	10,00 [cm]

Opzioni calcolo pali

Portanza verticale

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

Portanza trasversale

Costante di Winkler: da stratoCriterio rottura palo-terreno

- Spostamento limite	Non attivo
- Pressione limite	Pressione passiva con moltiplicatore M=3,00
- Palo infinitamente elastico	Non attivo

*Cedimenti*

Metodo di calcolo  
Spostamento limite alla punta  
Spostamento limite laterale

Metodo agli elementi finiti  
1,00 [cm]  
0,50 [cm]

## Risultati per combinazione

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
M <sub>s</sub>	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	Mr [kNm]	M <sub>s</sub> [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	461,29	196,61	384,71	1337,29	0,235
2 - STR (A1-M1-R3)	361,62	186,99	498,64	1188,22	0,393
3 - GEO (A2-M2-R2)	461,29	196,61	384,71	1337,29	0,235
4 - GEO (A2-M2-R2)	361,62	186,99	498,64	1188,22	0,393

### Scarichi in testa ai pali

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Ip	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	567,27	0,00	-294,92
	2	816,60	0,00	-294,92
2 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	378,73	0,00	-280,47
	2	706,15	0,00	-280,47

### Verifiche geotecniche

#### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.003					
2 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.054					
3 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				3.112		
4 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.935		

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

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

Ic	C [m]	R [m]	FS
3 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-4,00; 4,50	11,63	3.112
4 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4,00; 4,50	20,32	2.935

### Sollecitazioni

#### Elementi calcolati a trave

#### Simbologia adottata

N	Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
---	--

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

### Elementi calcolati a piastra

#### Simbologia adottata

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

### Paramento

#### Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3) H + V

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	2,08	0,00	0,16
2	-0,10	3,47	0,42	0,18
3	-0,20	4,90	0,94	0,26
4	-0,30	6,35	1,55	0,40
5	-0,40	7,83	2,25	0,61
6	-0,50	9,34	3,04	0,91
7	-0,60	10,88	3,92	1,30
8	-0,70	12,44	4,90	1,79
9	-0,80	14,03	5,96	2,38
10	-0,90	15,65	7,12	3,10
11	-1,00	17,30	8,37	3,95
12	-1,10	18,97	9,71	4,93
13	-1,20	20,67	11,14	6,06
14	-1,30	22,40	12,66	7,35
15	-1,40	24,16	14,28	8,80
16	-1,50	25,95	15,98	10,43
17	-1,60	27,76	17,78	12,24
18	-1,70	29,60	19,67	14,24
19	-1,80	31,47	21,65	16,45
20	-1,90	33,36	23,72	18,87
21	-2,00	35,28	25,89	21,51
22	-2,10	37,23	28,14	24,38
23	-2,20	39,21	30,49	27,49
24	-2,30	41,22	32,93	30,85
25	-2,40	43,25	35,46	34,47
26	-2,50	45,31	38,08	38,36
27	-2,60	47,40	40,79	42,52
28	-2,70	49,52	43,60	46,97
29	-2,80	51,66	46,49	51,72
30	-2,90	53,83	49,48	56,77
31	-3,00	56,03	52,56	62,13
32	-3,10	58,26	55,73	67,82
33	-3,20	60,51	58,99	73,84
34	-3,30	62,80	62,35	80,21
35	-3,40	65,11	65,79	86,92
36	-3,50	67,44	69,33	94,00
37	-3,60	69,81	72,96	101,44
38	-3,70	72,20	76,68	109,27
39	-3,80	74,62	80,49	117,48
40	-3,90	77,07	84,39	126,09
41	-4,00	79,54	88,39	135,11

#### Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H - V

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0,00	1,84	0,00	0,14
2	-0,10	2,92	0,42	0,16
3	-0,20	4,02	0,92	0,24
4	-0,30	5,14	1,51	0,37
5	-0,40	6,28	2,18	0,57
6	-0,50	7,44	2,93	0,85
7	-0,60	8,63	3,76	1,22
8	-0,70	9,83	4,68	1,68
9	-0,80	11,06	5,68	2,24
10	-0,90	12,31	6,76	2,91
11	-1,00	13,58	7,92	3,70
12	-1,10	14,87	9,17	4,61
13	-1,20	16,18	10,50	5,66
14	-1,30	17,52	11,91	6,86
15	-1,40	18,87	13,41	8,20
16	-1,50	20,25	14,98	9,71
17	-1,60	21,65	16,64	11,39
18	-1,70	23,07	18,38	13,24
19	-1,80	24,51	20,21	15,28
20	-1,90	25,97	22,12	17,51
21	-2,00	27,45	24,11	19,95
22	-2,10	28,96	26,18	22,59
23	-2,20	30,48	28,34	25,46
24	-2,30	32,03	30,57	28,55

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
25	-2,40	33,60	32,89	31,87
26	-2,50	35,19	35,30	35,45
27	-2,60	36,80	37,78	39,27
28	-2,70	38,43	40,35	43,35
29	-2,80	40,09	43,00	47,71
30	-2,90	41,76	45,74	52,34
31	-3,00	43,46	48,55	57,26
32	-3,10	45,17	51,45	62,47
33	-3,20	46,91	54,44	67,98
34	-3,30	48,67	57,50	73,81
35	-3,40	50,46	60,65	79,95
36	-3,50	52,26	63,88	86,43
37	-3,60	54,08	67,19	93,24
38	-3,70	55,93	70,58	100,39
39	-3,80	57,79	74,06	107,89
40	-3,90	59,68	77,62	115,76
41	-4,00	61,59	81,27	124,00

### Piastra fondazione

#### Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3) H + V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
9	<b>59,37</b>	197,89	0,00	0,00	-870,13	MAX
6	<b>-183,27</b>	-157,99	0,00	0,00	-364,33	MIN
9	59,37	<b>197,89</b>	0,00	0,00	-870,13	MAX
28	-175,26	<b>-162,94</b>	0,00	0,00	44,59	MIN
7	17,63	58,77	<b>17,99</b>	0,00	-94,38	MAX
12	17,63	58,77	<b>-17,99</b>	0,00	-94,38	MIN
3	34,70	15,00	0,46	<b>150,39</b>	-70,74	MAX
11	34,70	15,00	-0,46	<b>-150,39</b>	-70,74	MIN
23	-30,42	9,84	0,00	0,00	<b>154,14</b>	MAX
9	59,37	197,89	0,00	0,00	<b>-870,13</b>	MIN

#### Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H - V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
9	<b>59,37</b>	197,89	0,00	0,00	-870,13	MAX
6	<b>-183,27</b>	-157,99	0,00	0,00	-364,33	MIN
9	59,37	<b>197,89</b>	0,00	0,00	-870,13	MAX
28	-175,26	<b>-162,94</b>	0,00	0,00	44,59	MIN
7	17,63	58,77	<b>17,99</b>	0,00	-94,38	MAX
12	17,63	58,77	<b>-17,99</b>	0,00	-94,38	MIN
3	34,70	15,00	0,46	<b>150,39</b>	-70,74	MAX
11	34,70	15,00	-0,46	<b>-150,39</b>	-70,74	MIN
23	-30,42	9,84	0,00	0,00	<b>154,14</b>	MAX
9	59,37	197,89	0,00	0,00	<b>-870,13</b>	MIN

### Sollecitazioni pali

#### Simbologia adottata

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

#### Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3) H + V

##### Palo n° 1

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	567,27	10127,33	-294,92	-384,43	0,00	0,00
15	2,80	600,21	10086,14	15,53	-75,94	523,30	777,26
24	4,60	619,74	10019,07	138,51	201,21	353,44	642,55
53	10,40	690,45	9999,84	-0,11	6,53	-21,42	-30,58
101	20,00	808,75	9999,84	0,04	0,06	0,00	0,00

##### Palo n° 2

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	816,60	10127,49	-294,92	-384,43	0,00	0,00
15	2,80	849,07	10086,30	15,53	-75,94	523,30	777,26
24	4,60	867,78	10019,22	138,51	201,21	353,44	642,55
53	10,40	938,25	10000,00	-0,11	6,53	-21,42	-30,58
101	20,00	1056,56	10000,00	0,04	0,06	0,00	0,00

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H - V

Palo n° 1

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	378,73	9468,15	-280,47	-384,45	0,00	0,00
15	2,80	412,03	9426,95	24,35	-75,96	484,16	777,31
24	4,60	432,17	9359,85	128,15	201,22	318,57	642,63
53	10,40	503,06	9340,63	-0,54	6,53	-19,86	-30,58
101	20,00	621,37	9340,63	0,04	0,06	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	706,15	10127,39	-280,47	-384,45	0,00	0,00
15	2,80	738,82	10086,20	24,35	-75,96	484,16	777,31
24	4,60	757,89	10019,12	128,15	201,22	318,57	642,63
53	10,40	828,47	9999,90	-0,54	6,53	-19,86	-30,58
101	20,00	946,78	9999,90	0,04	0,06	0,00	0,00

## Risultati per involucro

### Risultanti globali

#### Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
N	Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]
T	Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]
M <sub>r</sub>	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
M <sub>s</sub>	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
ecc	Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	M <sub>r</sub> [kNm]	M <sub>s</sub> [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	461,29	196,61	384,71	1337,29	0,235
2 - STR (A1-M1-R3)	361,62	186,99	498,64	1188,22	0,393
3 - GEO (A2-M2-R2)	461,29	196,61	384,71	1337,29	0,235
4 - GEO (A2-M2-R2)	361,62	186,99	498,64	1188,22	0,393

### Scarichi in testa ai pali

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Ip	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	567,27	0,00	-294,92
	2	816,60	0,00	-294,92
1 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	567,27	0,00	-294,92
	2	816,60	0,00	-294,92

### Verifiche geotecniche

#### Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

#### Simbologia adottata

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

Cmb	Sismica	FS <sub>SCO</sub>	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>QLIM</sub>	FS <sub>STAB</sub>	FS <sub>HYD</sub>	FS <sub>UPL</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.003					
2 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.054					
3 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				3.112		
4 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.935		

### Verifica stabilità globale muro + terreno

#### Simbologia adottata

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

Ic	C [m]	R [m]	FS
4 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4,00; 4,50	20,32	2.935

### Sollecitazioni

#### Elementi calcolati a trave

#### Simbologia adottata

N	Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T	Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle

M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

### Elementi calcolati a piastra

#### Simbologia adottata

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

### Paramento

n°	X [m]	Nmin [kN]	Nmax [kN]	Tmin [kN]	Tmax [kN]	Mmin [kNm]	Mmax [kNm]
1	0,00	1,84	2,08	0,00	0,00	0,14	0,16
2	-0,10	2,92	3,47	0,42	0,42	0,16	0,18
3	-0,20	4,02	4,90	0,92	0,94	0,24	0,26
4	-0,30	5,14	6,35	1,51	1,55	0,37	0,40
5	-0,40	6,28	7,83	2,18	2,25	0,57	0,61
6	-0,50	7,44	9,34	2,93	3,04	0,85	0,91
7	-0,60	8,63	10,88	3,76	3,92	1,22	1,30
8	-0,70	9,83	12,44	4,68	4,90	1,68	1,79
9	-0,80	11,06	14,03	5,68	5,96	2,24	2,38
10	-0,90	12,31	15,65	6,76	7,12	2,91	3,10
11	-1,00	13,58	17,30	7,92	8,37	3,70	3,95
12	-1,10	14,87	18,97	9,17	9,71	4,61	4,93
13	-1,20	16,18	20,67	10,50	11,14	5,66	6,06
14	-1,30	17,52	22,40	11,91	12,66	6,86	7,35
15	-1,40	18,87	24,16	13,41	14,28	8,20	8,80
16	-1,50	20,25	25,95	14,98	15,98	9,71	10,43
17	-1,60	21,65	27,76	16,64	17,78	11,39	12,24
18	-1,70	23,07	29,60	18,38	19,67	13,24	14,24
19	-1,80	24,51	31,47	20,21	21,65	15,28	16,45
20	-1,90	25,97	33,36	22,12	23,72	17,51	18,87
21	-2,00	27,45	35,28	24,11	25,89	19,95	21,51
22	-2,10	28,96	37,23	26,18	28,14	22,59	24,38
23	-2,20	30,48	39,21	28,34	30,49	25,46	27,49
24	-2,30	32,03	41,22	30,57	32,93	28,55	30,85
25	-2,40	33,60	43,25	32,89	35,46	31,87	34,47
26	-2,50	35,19	45,31	35,30	38,08	35,45	38,36
27	-2,60	36,80	47,40	37,78	40,79	39,27	42,52
28	-2,70	38,43	49,52	40,35	43,60	43,35	46,97
29	-2,80	40,09	51,66	43,00	46,49	47,71	51,72
30	-2,90	41,76	53,83	45,74	49,48	52,34	56,77
31	-3,00	43,46	56,03	48,55	52,56	57,26	62,13
32	-3,10	45,17	58,26	51,45	55,73	62,47	67,82
33	-3,20	46,91	60,51	54,44	58,99	67,98	73,84
34	-3,30	48,67	62,80	57,50	62,35	73,81	80,21
35	-3,40	50,46	65,11	60,65	65,79	79,95	86,92
36	-3,50	52,26	67,44	63,88	69,33	86,43	94,00
37	-3,60	54,08	69,81	67,19	72,96	93,24	101,44
38	-3,70	55,93	72,20	70,58	76,68	100,39	109,27
39	-3,80	57,79	74,62	74,06	80,49	107,89	117,48
40	-3,90	59,68	77,07	77,62	84,39	115,76	126,09
41	-4,00	61,59	79,54	81,27	88,39	124,00	135,11

### Piastra fondazione

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
9	<b>59,37</b> (1)	197,89 (1)	0,00 (1)	0,00 (1)	-870,13 (1)	MAX
6	<b>-183,27</b> (1)	-157,99 (1)	0,00 (1)	0,00 (1)	-364,33 (1)	MIN
9	59,37 (1)	<b>197,89</b> (1)	0,00 (1)	0,00 (1)	-870,13 (1)	MAX
28	-175,26 (1)	<b>-162,94</b> (1)	0,00 (1)	0,00 (1)	44,59 (1)	MIN
7	17,63 (1)	58,77 (1)	<b>17,99</b> (1)	0,00 (1)	-94,38 (1)	MAX
12	17,63 (1)	58,77 (1)	<b>-17,99</b> (1)	0,00 (1)	-94,38 (1)	MIN
3	34,70 (1)	15,00 (1)	0,46 (1)	<b>150,39</b> (1)	-70,74 (1)	MAX
11	34,70 (1)	15,00 (1)	-0,46 (1)	<b>-150,39</b> (1)	-70,74 (1)	MIN
23	-30,42 (1)	9,84 (1)	0,00 (1)	0,00 (1)	<b>154,14</b> (1)	MAX
9	59,37 (1)	197,89 (1)	0,00 (1)	0,00 (1)	<b>-870,13</b> (1)	MIN

### Sollecitazioni pali

#### Simbologia adottata

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

#### Palo n° 1

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	567,27	10127,33	-294,92	-384,43	0,00	0,00

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
15	2,80	600,21	10086,14	15,53	-75,94	523,30	777,26
24	4,60	619,74	10019,07	138,51	201,21	353,44	642,55
53	10,40	690,45	9999,84	-0,11	6,53	-21,42	-30,58
101	20,00	808,75	9999,84	0,04	0,06	0,00	0,00

**Palo n° 2**

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	816,60	10127,49	-294,92	-384,43	0,00	0,00
15	2,80	849,07	10086,30	15,53	-75,94	523,30	777,26
24	4,60	867,78	10019,22	138,51	201,21	353,44	642,55
53	10,40	938,25	10000,00	-0,11	6,53	-21,42	-30,58
101	20,00	1056,56	10000,00	0,04	0,06	0,00	0,00

**Palo n° 1**

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	378,73	9468,15	-280,47	-384,45	0,00	0,00
15	2,80	412,03	9426,95	24,35	-75,96	484,16	777,31
24	4,60	432,17	9359,85	128,15	201,22	318,57	642,63
53	10,40	503,06	9340,63	-0,54	6,53	-19,86	-30,58
101	20,00	621,37	9340,63	0,04	0,06	0,00	0,00

**Palo n° 2**

n°	Y [m]	Ne [kN]	Nr [kN]	Te [kN]	Tr [kN]	Me [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	706,15	10127,39	-280,47	-384,45	0,00	0,00
15	2,80	738,82	10086,20	24,35	-75,96	484,16	777,31
24	4,60	757,89	10019,12	128,15	201,22	318,57	642,63
53	10,40	828,47	9999,90	-0,54	6,53	-19,86	-30,58
101	20,00	946,78	9999,90	0,04	0,06	0,00	0,00