

**REGIONE PIEMONTE**

**PROVINCIA DI TORINO**

## **COMUNE DI BRICHERASIO**



**INTERVENTI DI RIPRISTINO SOTTOSCARPA STRADA  
COMUNALE DENOMINATA VIA CUCCIA**

## **RELAZIONE DI CALCOLO**

Bricherasio 23/06/2023

**Ing Maurizio Priotto**

Il presente documento è sottoscritto con firma  
digitale ai sensi dell'art.21 del d.lgs 82/2005

Codice elaborato : N798S0E01RL002R00

## Normative di riferimento

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018

## Richiami teorici

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

Se il muro è in calcestruzzo armato: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

Se il muro è a gravità: Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione e verifica in diverse sezioni al ribaltamento, allo scorrimento ed allo schiacciamento.

## Calcolo della spinta sul muro

### Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

### 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. 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  $p$  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 ( $W$ ), 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.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta  $S$  rispetto all'ordinata  $z$ . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

### Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte del muro sia presente la falda il diagramma delle pressioni sul muro 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 specifico 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.

### Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta  $\epsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta  $S'$  considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\epsilon' = \epsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove  $\theta = \arctg(C)$  essendo  $C$  il coefficiente di intensità sismica.

Detta  $S$  la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente  $A$  vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente  $A$  si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di  $\theta$ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente  $A$  viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico. Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove  $W$  è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

### Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $\eta_g$ .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{esima}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{esima}$ ,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $\eta$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

### Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito  $\phi$  e la coesione  $c$ . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo solitamente viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

- $Q_T$  portanza totale del palo
- $Q_P$  portanza di base del palo
- $Q_L$  portanza per attrito laterale del palo

$W_p$  peso proprio del palo

e le due componenti  $Q_p$  e  $Q_l$  sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo  $Q_A$  applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta  $\eta_p$  ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale  $\eta_l$ .

Palo compresso:

$$Q_A = Q_p / \eta_p + Q_l / \eta_l - W_p$$

Palo teso:

$$Q_A = Q_l / \eta_l + W_p$$

### Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p(cN'_c + qN'_q + 1/2B\gamma N'_\gamma)$$

dove  $A_p$  è l'area portante efficace della punta del palo,  $c$  è la coesione,  $q$  è la pressione geostatica alla quota della punta del palo,  $\gamma$  è il peso specifico del terreno,  $D$  è il diametro del palo ed i coefficienti  $N'_c$ ,  $N'_q$ ,  $N'_\gamma$  sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità. Possono essere utilizzati sia i coefficienti di Hansen che quelli di Vesic con i corrispondenti fattori correttivi per la profondità e la forma.

Il parametro  $\eta$  che compare nell'espressione assume il valore:

$$\eta = \frac{1 + 2K_0}{3}$$

quando si usa la formula di Vesic e viene posto uguale ad 1 per le altre formule.

$K_0$  rappresenta il coefficiente di spinta a riposo che può essere espresso come:  $K_0 = 1 - \sin\phi$ .

### Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int \tau_a dS$$

dove  $\tau_a$  è dato dalla nota relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_z \tan\delta$$

dove  $c_a$  è l'adesione palo-terreno,  $\delta$  è l'angolo di attrito palo-terreno,  $\gamma$  è il peso specifico del terreno,  $z$  è la generica quota a partire dalla testa del palo,  $L$  e  $P$  sono rispettivamente la lunghezza ed il perimetro del palo,  $K_s$  è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

### Portanza trasversale dei pali - Analisi ad elementi finiti

Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante elastica  $K$  espressa in  $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$  che rappresenta la pressione (in  $\text{Kg/cm}^2$ ) che bisogna applicare per ottenere l'abbassamento di 1 cm.

Nel metodo degli elementi finiti occorre discretizzare il particolare problema. Nel caso specifico il palo viene suddiviso in un certo numero di elementi di eguale lunghezza. Ogni elemento è caratterizzato da una sezione avente area ed inerzia coincidente con quella del palo.

Il terreno viene schematizzato come una serie di molle orizzontali che reagiscono agli spostamenti nei due versi. La rigidezza assiale della singola molla è proporzionale alla costante di Winkler orizzontale del terreno, al diametro del palo ed alla lunghezza dell'elemento. La molla, però, non viene vista come un elemento infinitamente elastico ma come un elemento con comportamento del tipo elastoplastico perfetto (diagramma sforzi-deformazioni di tipo bilatero). Essa presenta una resistenza crescente al crescere degli spostamenti fino a che l'entità degli spostamenti si mantiene al di sotto di un certo spostamento limite,  $X_{\max}$  oppure fino a quando non si raggiunge il valore della pressione limite. Superato tale limite non si ha un incremento di resistenza. E' evidente che assumendo un comportamento di questo tipo ci si addentra in un tipico problema non lineare che può essere risolto solo mediante una analisi al passo.

Questa modellazione presenta il notevole vantaggio di poter schematizzare tutti quei comportamenti individuati da Broms e che sarebbe impossibile trattare in un modello numerico. In particolare risulta automatico analizzare casi in cui si ha insufficiente portanza non per rottura del palo ma per rottura del terreno (vedi il caso di un palo molto rigido in un terreno molle).

### Determinazione degli scarichi sul palo.

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

La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi di libertà) ed i pali vengono considerati incastrati o incernierati (la scelta del vincolo viene fatta dall'Utente nella tabella CARATTERISTICHE del sottomenu PALI) a tale piastra.

Viene effettuata una prima analisi di ogni palo di ciascuna fila (i pali di ogni fila hanno le stesse caratteristiche) per costruire una curva carichi-spostamenti del palo. Questa curva viene costruita considerando il palo elastico. Si tratta, in definitiva, della matrice di rigidezza del palo  $Ke$ , costruita imponendo traslazioni e rotazioni unitarie per determinare le corrispondenti sollecitazioni in testa al palo.

Nota la matrice di rigidità di ogni palo si assembla la matrice globale (di dimensioni 3x3) della palificata,  $K$ .

A questo punto, note le forze agenti in fondazione (N, T, M) si possono ricavare gli spostamenti della piastra (abbassamento, traslazione e rotazione) e le forze che si scaricano su ciascun palo. Infatti indicando con  $p$  il vettore dei carichi e con  $u$  il vettore degli spostamenti della piastra abbiamo:

$$u = K^{-1}p$$

Noti gli spostamenti della piastra, e quindi della testa dei pali, abbiamo gli scarichi su ciascun palo. Allora per ciascun palo viene effettuata un'analisi elastoplastica incrementale (tramite il metodo degli elementi finiti) che, tenendo conto della plasticizzazione del terreno, calcola le sollecitazioni in tutte le sezioni del palo., le caratteristiche del terreno (rappresentate da  $K/h$ ) sono tali che se non è possibile raggiungere l'equilibrio si ha collasso per rottura del terreno.

## Dati

### Materiali

Simbologia adottata

$n^\circ$  Indice materiale

Descr Descrizione del materiale

#### Calcestruzzo armato

C Classe di resistenza del cls

A Classe di resistenza dell'acciaio

$\gamma$  Peso specifico, espresso in [kg/mc]

$R_{ck}$  Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kg/cm<sup>2</sup>]

E Modulo elastico, espresso in [kg/cm<sup>2</sup>]

$\nu$  Coeff. di Poisson

$n$  Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls

$ntc$  Coeff. di omogenizzazione cls tesoro/compresso

#### Calcestruzzo armato

$n^\circ$	Descr	C	A	$\gamma$	$R_{ck}$	E	$\nu$	$n$	$ntc$
				[kg/mc]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]			
1	C32/40	C32/40	B450C	2500.00	407.88	343054	0.30	15.00	0.50

#### Acciai

Descr	$f_{yk}$	$f_{uk}$
	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
B450C	458.65	550.638

### Tipologie pali

Simbologia adottata

$n^\circ$  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, Pl Portanza di punta e laterale caratteristica, espressa in [kg]

$n^\circ$	Descr	P	T	V	Imat	BD	PN	Pp	Pl
1	Tipologia palo 1	Laterale + Punta	Trivellato	Trivellato	1	SI	NO	--	--

### Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata

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

$n^\circ$  numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

$n^\circ$	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]

n°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	0.00	0.00	0.000
2	3.40	0.00	0.000
3	11.00	4.50	30.630

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 35.000 [°]

## Geometria muro

### Geometria paramento e fondazione

#### Paramento

Materiale	C32/40	
Altezza paramento	2.70	[m]
Altezza paramento libero	2.70	[m]
Spessore in sommità	0.40	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.40	[m]
Inclinazione paramento esterno	0.00	[°]
Inclinazione paramento interno	0.00	[°]

#### Fondazione

Materiale	C32/40	
Lunghezza mensola di valle	0.00	[m]
Lunghezza mensola di monte	1.60	[m]
Lunghezza totale	2.00	[m]
Inclinazione piano di posa	0.00	[°]
Spessore	0.70	[m]
Spessore magrone	0.10	[m]

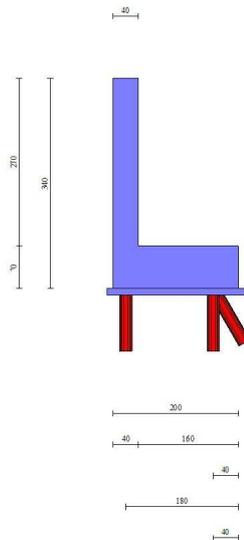


Fig. 1 - Sezione quotata del muro

### 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	I	f	Np	D	L	$\alpha$	ALL
		[m]	[m]	[m]		[cm]	[m]	[°]	
1	Tipologia palo 1	0.40	2.00	0.50	9	20.00	10.00	30.00	Centrati

n°	Tipologia	X [m]	I [m]	f [m]	Np	D [cm]	L [m]	$\alpha$ [°]	ALL
2	Tipologia palo 1	1.80	1.00	0.50	18	20.00	10.00	0.00	Sfalsati
3	Tipologia palo 1	0.40	2.00	0.50	10	20.00	10.00	0.00	Sfalsati

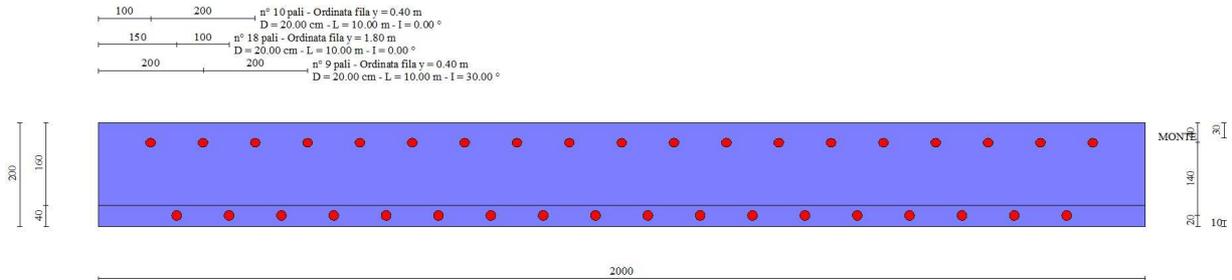


Fig. 2 - Pianta pali

## Descrizione terreni

### Parametri di resistenza

Simbologia adottata

$n^\circ$	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
$c_a$	Adesione terra-muro espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
<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 [kg/cm <sup>2</sup> ]

n°	Descr	$\gamma$ [kg/mc]	$\gamma_{sat}$ [kg/mc]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	$c_a$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	Cesp	$\tau_l$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	
1	Terreno	1900.00	2000.00	40.000	26.670	0.00	0.00	1.100	2.31	(CAR)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(MIN)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(MED)
2	Terreno 2	2300.00	2300.00	27.000	18.000	0.50	0.25	1.100	1.80	(CAR)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(MIN)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(MED)
3	Terreno 3	2300.00	2300.00	30.000	20.000	1.00	0.50	1.100	2.31	(CAR)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(MIN)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(MED)
4	Terreno 4	1800.00	2000.00	35.000	23.330	0.00	0.00	1.000	0.00	(CAR)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(MIN)
				0.000	0.000	0.00	0.00			(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')

$K_{st,sta}$ ,  $K_{st,sis}$  Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H	$\alpha$	Terreno	Kwn	Kwt	Kw	Ks	Cesp	$K_{st,sta}$	$K_{st,sis}$
	[m]	[°]		[kg/cm <sup>3</sup> ]	[kg/cm <sup>3</sup> ]	[kg/cm <sup>3</sup> ]				
1	5.40	26.000	Terreno	0.000	0.000	3.000	0.300	1.000	0.311	0.370
2	0.90	26.000	Terreno 2	0.000	0.000	10.000	0.300	1.100	0.835	0.885
3	10.00	29.000	Terreno 3	0.000	0.000	10.000	0.300	1.100	0.798	0.853

Terreno di riempimento:

Terreno 4

Inclinazione riempimento (rispetto alla verticale): 20.00 [°]

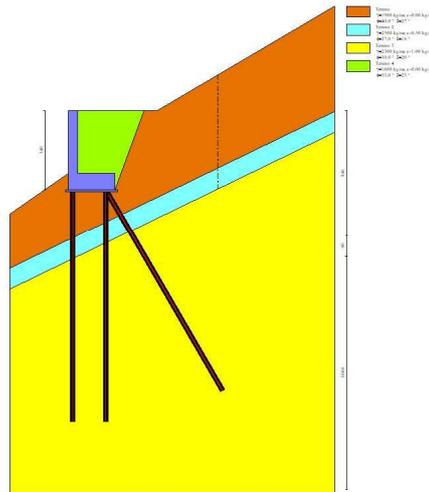


Fig. 3 - Stratigrafia

### 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]

$F_x$  Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kg]

$F_y$  Componente verticale del carico concentrato espressa in [kg]

M Momento espresso in [kgm]

$X_i$  Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]

$X_f$  Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]

$Q_i$  Intensità del carico per  $x=X_i$  espressa in [kg]

$Q_f$  Intensità del carico per  $x=X_f$  espressa in [kg]

Condizione n° 1 (Ruota 60 kN) - VARIABILE TF

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

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X	$F_x$	$F_y$	M	$X_i$	$X_f$	$Q_i$	$Q_f$
		[m]	[kg]	[kg]	[kgm]	[m]	[m]	[kg]	[kg]
1	Concentrato	0.60	0.00	6000.00					
2	Concentrato	2.60	0.00	6000.00					

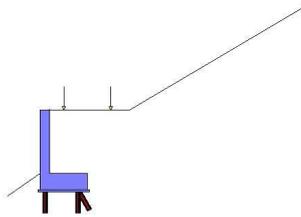


Fig. 4 - Carichi sul terreno

Condizione n° 2 (Peso terreno) - PERMANENTE

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	Fx [kg]	Fy [kg]	M [kgm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kg]	Qf [kg]
1	Distribuito					3.40	5.50	0.00	4750.00
2	Distribuito					5.50	11.00	4750.00	4750.00

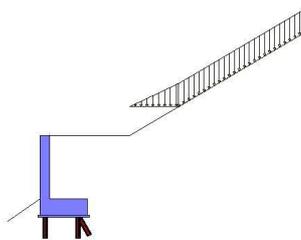


Fig. 5 - Carichi sul terreno

## 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

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Carichi verticali. Coeff. parziali  $\gamma_g$  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  $\gamma_g$  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 sismica, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

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

I valori dei coeff.  $\Psi_{0,j}$ ,  $\Psi_{1,j}$ ,  $\Psi_{2,j}$  sono definiti nelle singole condizioni variabili, 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
Peso terreno	1.30	--	Sfavorevole
Ruota 60 kN	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - 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
Peso terreno	1.00	--	Sfavorevole

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

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

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

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

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Ruota 60 kN	1.15	1.00	Sfavorevole

## Combinazione n° 5 - 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
Peso terreno	1.00	--	Sfavorevole

## Combinazione n° 6 - 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
Peso terreno	1.00	--	Sfavorevole

Dati sismici

Comune	Bricherasio
Provincia	Torino
Regione	Piemonte
Latitudine	44.831509
Longitudine	7.265353
Indice punti di interpolazione	14675 - 14453 - 14452 - 14674
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	II
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	50 anni

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.316	0.524
Accelerazione al suolo	$a_g/g$	[%]	0.134	0.053
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.470	2.428
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.265	0.226
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200

Stato limite ...	Coeff. di riduzione $\beta_m$	kh	kv
Ultimo	1.000	19.320	9.660
Ultimo - Ribaltamento	1.000	19.320	9.660
Esercizio	1.000	7.689	3.844

Forma diagramma incremento sismico  **Rettangolare**

**Opzioni di calcolo**Spinta

Metodo di calcolo della spinta	Culmann
Tipo di spinta	Spinta attiva
Terreno a bassa permeabilità	NO
Superficie di spinta limitata	SI
Distanza dalla testa del muro	6.00

Stabilità globale

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

Opzioni calcolo paliPortanza verticale

Metodo di calcolo della portanza alla laterale	Bustamante-Doix
Metodo di calcolo della portanza alla punta	15.00 % della portanza laterale
Applica coeff. parziale azione peso proprio palo e attrito negativo	

Portanza trasversale

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 [kg]

C<sub>X</sub>, C<sub>Y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg]

P<sub>X</sub>, P<sub>Y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kg]	I [°]	C <sub>X</sub> [kg]	C <sub>Y</sub> [kg]	P <sub>X</sub> [m]	P <sub>Y</sub> [m]
1	Spinta statica	7804	23.33	7166	3091	1.60	-1.75
	Peso/Inerzia muro			0	6200/0	0.25	-2.31
	Peso/Inerzia terrapieno			0	15876/0	0.80	-1.35
	Resistenza passiva terreno antistante			-7996			
2	Spinta statica	2805	23.33	2576	1111	1.60	-2.36
	Incremento di spinta sismica		3974	3649	1574	1.60	-1.70
	Peso/Inerzia muro			1198	6200/599	0.25	-2.31
	Peso/Inerzia terrapieno			1502	7776/751	0.80	-1.35
3	Spinta statica	2805	23.33	2576	1111	1.60	-2.36
	Incremento di spinta sismica		3433	3152	1359	1.60	-1.70
	Peso/Inerzia muro			1198	6200/-599	0.25	-2.31
	Peso/Inerzia terrapieno			1502	7776/-751	0.80	-1.35
	Resistenza passiva terreno antistante			-7996			

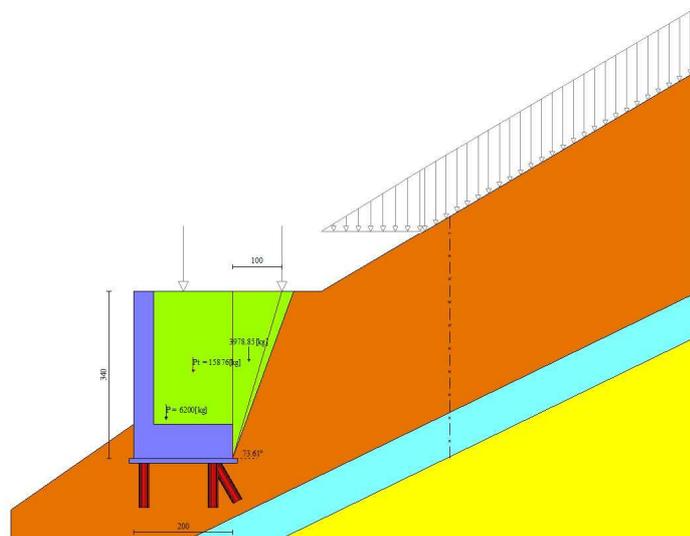


Fig. 6 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

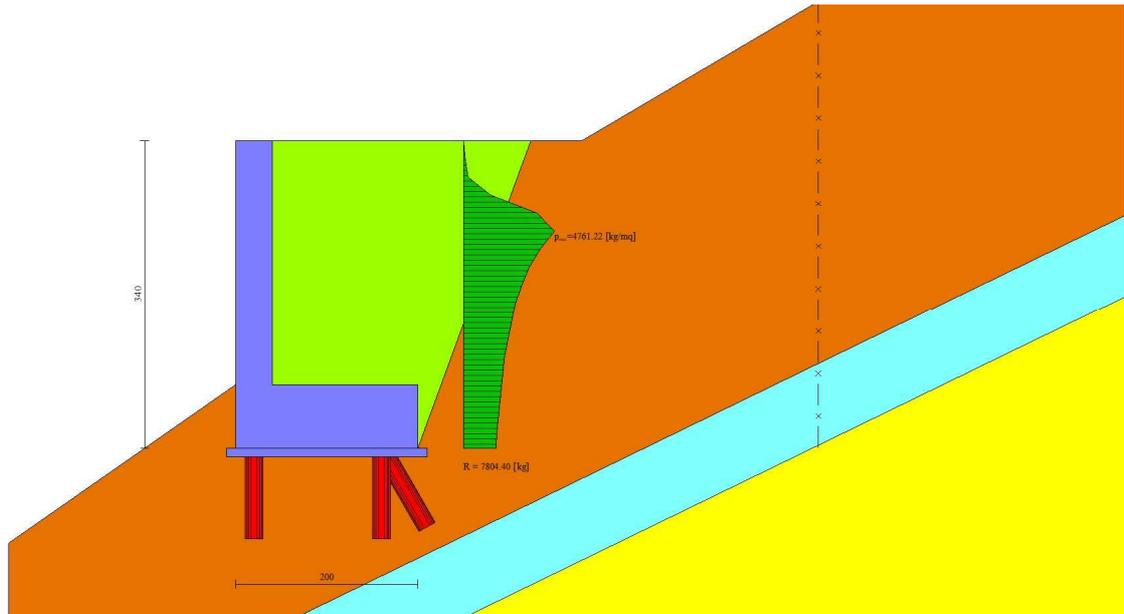


Fig. 7 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

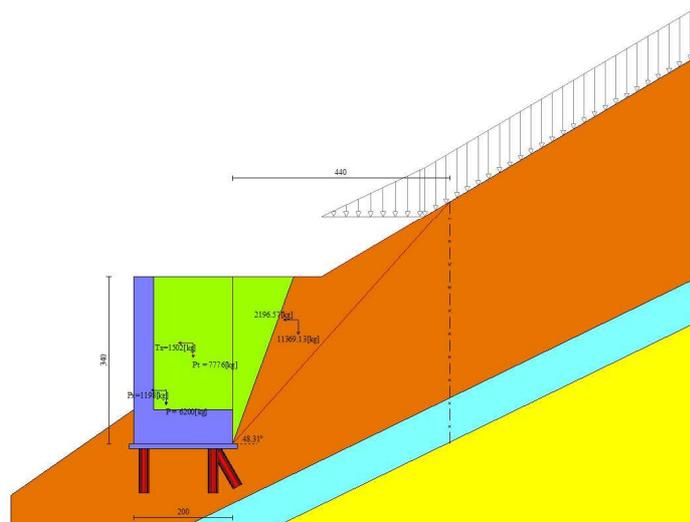


Fig. 8 - Cuneo di spinta (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

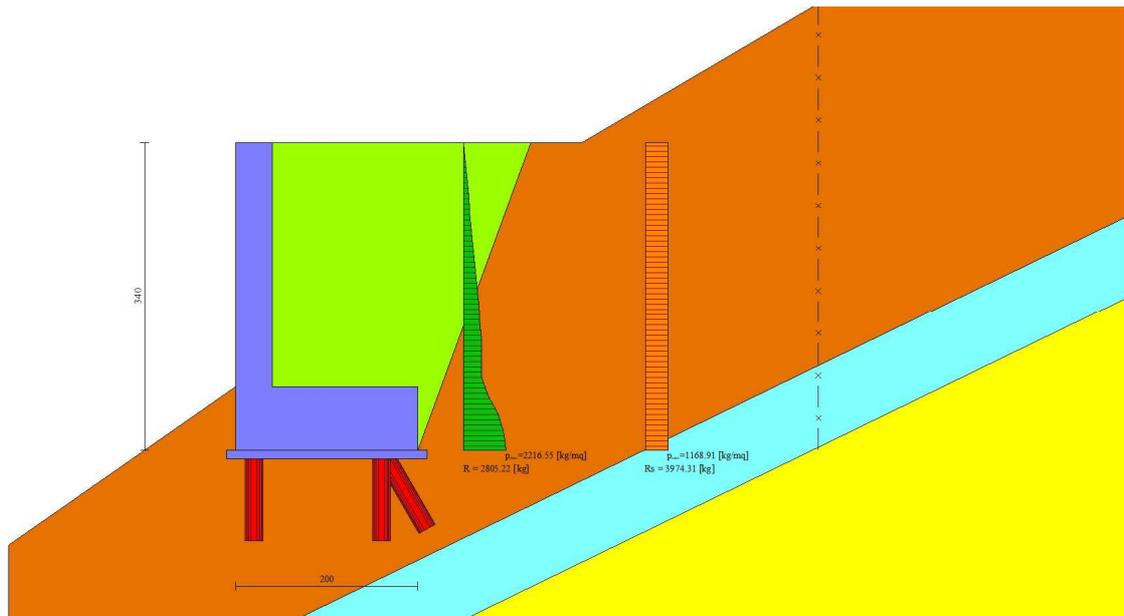


Fig. 9 - Diagramma delle pressioni (combinazione sismica) (Combinazione n° 2)

### Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

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

Cmb	Ip	N [kg]	M [kgm]	T [kg]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	-20868	-1486	-1352
	2	20306	-1485	-1379
	3	29440	-1506	-1407
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-28871	-1400	-1309
	2	19599	-1437	-1361
	3	22657	-1458	-1389
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-27243	-1289	-1235
	2	17458	-1331	-1290
	3	19446	-1347	-1312

### 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)		13.234					
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	10.654					
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	11.293					
4 - GEO (A2-M2-R2)					2.380		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				2.252		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.377		

*Verifiche portanza trasversale (scorrimento)*

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
T	Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Td	Portanza trasversale di progetto, espresso in [kg]
FS <sub>o</sub>	Fattore di sicurezza (Td/T)

Ic	Ip	T [kg]	Td [kg]	FS <sub>o</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)	1	-1352	1837	1.359
	2	-1379	1876	1.360
	3	-1407	1886	1.341
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-1309	1888	1.442
	2	-1361	1912	1.405
	3	-1389	1923	1.385
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-1235	1934	1.566
	2	-1290	1957	1.517
	3	-1312	1967	1.499

*Verifiche portanza verticale*

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
N	Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Pd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS <sub>v</sub>	Fattore di sicurezza (Pd/N)

Ic	Ip	N [kg]	Pd [kg]	FS <sub>v</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)	1	-20868	74912	3.590
	2	20306	89111	4.389
	3	29440	89111	3.027
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-28871	74912	2.595
	2	19599	89377	4.560
	3	22657	89377	3.945
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-27243	74912	2.750
	2	17458	89377	5.119
	3	19446	89377	4.596

**Dettagli calcolo portanza verticale**

Simbologia adottata

n°	Indice palo
Nc, Nq	Coeff. di capacità portante
N'c, N'q	Coeff. di capacità portante corretti
Zc	Massima profondità andamento pressione geostatica, espressa in [m]
Pp, Pl	Portanza di punta e laterale caratteristica, espresse in [kg]
A	Attrito negativo, espresso in [kg]
Wp	Peso palo, espresso in [kg]

n°	Nc	N'c	Nq	N'q	Zc [m]	Pp [kg]	Pl [kg]	A [kg]	Wp [kg]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22	0	157303	0	888
						0	157303		
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.24	23471	156474	0	888
						23471	156474		
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22	23471	156474	0	888
						23471	156474		

*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)	-4.50; 4.50	19.72	2.380
5 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-4.50; 4.50	19.72	2.252
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4.50; 4.50	19.72	2.377

### 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 [kg]

Qy carico sulla striscia espresso in [kg]

$\alpha$  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 [kg/cmq]

b larghezza della striscia espressa in [m]

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kg]	[kg]	[m]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg]
1	16112	0	15.08 - 1.18	76.039	24.791	0.80	0.000	
2	24135	0	1.18	64.867	24.791	0.80	0.000	
3	28240	0	1.18	57.619	24.791	0.80	0.000	
4	30954	3071	1.18	51.648	24.791	0.80	0.000	
5	32823	5608	1.18	46.394	24.791	0.80	0.000	
6	34090	5608	1.18	41.611	24.791	0.80	0.000	
7	34889	5608	1.18	37.162	24.791	0.80	0.000	
8	35303	5608	1.18	32.964	24.791	0.80	0.000	
9	35390	4361	1.18	28.958	24.791	0.80	0.000	
10	35197	1247	1.18	25.102	24.791	0.80	0.000	
11	35606	6900	1.18	21.364	24.791	0.80	0.000	
12	36765	0	1.18	17.721	24.791	0.80	0.000	
13	35585	6900	1.18	14.150	24.791	0.80	0.000	
14	28858	0	1.18	10.634	24.791	0.80	0.000	
15	24778	0	1.18	7.159	24.791	0.80	0.000	
16	22291	0	1.18	3.711	24.791	0.80	0.000	
17	20621	0	1.18	0.275	24.791	0.80	0.000	
18	18800	0	1.18	-3.159	24.791	0.80	0.000	
19	16829	0	1.18	-6.605	24.791	0.80	0.000	
20	14704	0	1.18	-10.075	24.791	0.80	0.000	
21	12421	0	1.18	-13.583	24.791	0.80	0.000	
22	9973	0	1.18	-17.143	24.791	0.80	0.000	
23	7353	0	1.18	-20.774	24.791	0.80	0.000	
24	4549	0	1.18	-24.495	24.791	0.80	0.000	
25	1544	0	-14.44 - 1.18	-28.131	22.177	0.40	0.000	

Resistenza al taglio pali 0 [kg]

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

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kg]	[kg]	[m]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg]
1	16112	0	15.08 - 1.18	76.039	30.000	1.00	0.000	
2	24135	0	1.18	64.867	30.000	1.00	0.000	
3	28240	0	1.18	57.619	30.000	1.00	0.000	
4	30954	3071	1.18	51.648	30.000	1.00	0.000	
5	32823	5608	1.18	46.394	30.000	1.00	0.000	
6	34090	5608	1.18	41.611	30.000	1.00	0.000	
7	34889	5608	1.18	37.162	30.000	1.00	0.000	
8	35303	5608	1.18	32.964	30.000	1.00	0.000	
9	35390	4361	1.18	28.958	30.000	1.00	0.000	
10	35197	1247	1.18	25.102	30.000	1.00	0.000	
11	35606	0	1.18	21.364	30.000	1.00	0.000	
12	36765	0	1.18	17.721	30.000	1.00	0.000	
13	35585	0	1.18	14.150	30.000	1.00	0.000	
14	28858	0	1.18	10.634	30.000	1.00	0.000	
15	24778	0	1.18	7.159	30.000	1.00	0.000	
16	22291	0	1.18	3.711	30.000	1.00	0.000	
17	20621	0	1.18	0.275	30.000	1.00	0.000	
18	18800	0	1.18	-3.159	30.000	1.00	0.000	
19	16829	0	1.18	-6.605	30.000	1.00	0.000	

n°	W [kg]	Qy [kg]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kg/cmq]	u [kg/cmq]	Tx; Ty [kg]
20	14704	0	1.18	-10.075	30.000	1.00	0.000	
21	12421	0	1.18	-13.583	30.000	1.00	0.000	
22	9973	0	1.18	-17.143	30.000	1.00	0.000	
23	7353	0	1.18	-20.774	30.000	1.00	0.000	
24	4549	0	1.18	-24.495	30.000	1.00	0.000	
25	1544	0	-14.44 - 1.18	-28.131	27.000	0.50	0.000	

Resistenza al taglio pali 0 [kg]

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

n°	W [kg]	Qy [kg]	b [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	c [kg/cmq]	u [kg/cmq]	Tx; Ty [kg]
1	16112	0	15.08 - 1.18	76.039	30.000	1.00	0.000	
2	24135	0	1.18	64.867	30.000	1.00	0.000	
3	28240	0	1.18	57.619	30.000	1.00	0.000	
4	30954	3071	1.18	51.648	30.000	1.00	0.000	
5	32823	5608	1.18	46.394	30.000	1.00	0.000	
6	34090	5608	1.18	41.611	30.000	1.00	0.000	
7	34889	5608	1.18	37.162	30.000	1.00	0.000	
8	35303	5608	1.18	32.964	30.000	1.00	0.000	
9	35390	4361	1.18	28.958	30.000	1.00	0.000	
10	35197	1247	1.18	25.102	30.000	1.00	0.000	
11	35606	0	1.18	21.364	30.000	1.00	0.000	
12	36765	0	1.18	17.721	30.000	1.00	0.000	
13	35585	0	1.18	14.150	30.000	1.00	0.000	
14	28858	0	1.18	10.634	30.000	1.00	0.000	
15	24778	0	1.18	7.159	30.000	1.00	0.000	
16	22291	0	1.18	3.711	30.000	1.00	0.000	
17	20621	0	1.18	0.275	30.000	1.00	0.000	
18	18800	0	1.18	-3.159	30.000	1.00	0.000	
19	16829	0	1.18	-6.605	30.000	1.00	0.000	
20	14704	0	1.18	-10.075	30.000	1.00	0.000	
21	12421	0	1.18	-13.583	30.000	1.00	0.000	
22	9973	0	1.18	-17.143	30.000	1.00	0.000	
23	7353	0	1.18	-20.774	30.000	1.00	0.000	
24	4549	0	1.18	-24.495	30.000	1.00	0.000	
25	1544	0	-14.44 - 1.18	-28.131	27.000	0.50	0.000	

Resistenza al taglio pali 0 [kg]

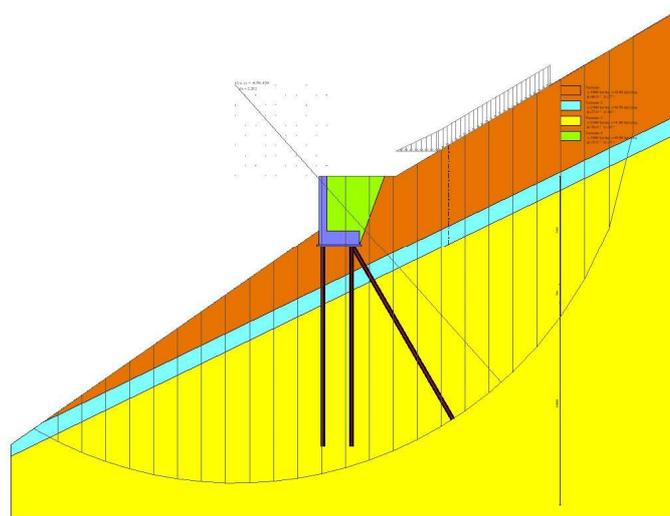


Fig. 10 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 5)

## Risultati per inviluppo

### Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kg]

C<sub>X</sub>, C<sub>Y</sub> Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kg]

P<sub>X</sub>, P<sub>Y</sub> Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V [kg]	I [°]	C <sub>X</sub> [kg]	C <sub>Y</sub> [kg]	P <sub>X</sub> [m]	P <sub>Y</sub> [m]
1	Spinta statica	7804	23.33	7166	3091	1.60	-1.75
	Peso/Inerzia muro			0	6200/0	0.25	-2.31
	Peso/Inerzia terrapieno			0	15876/0	0.80	-1.35
	Resistenza passiva terreno antistante			-7996			

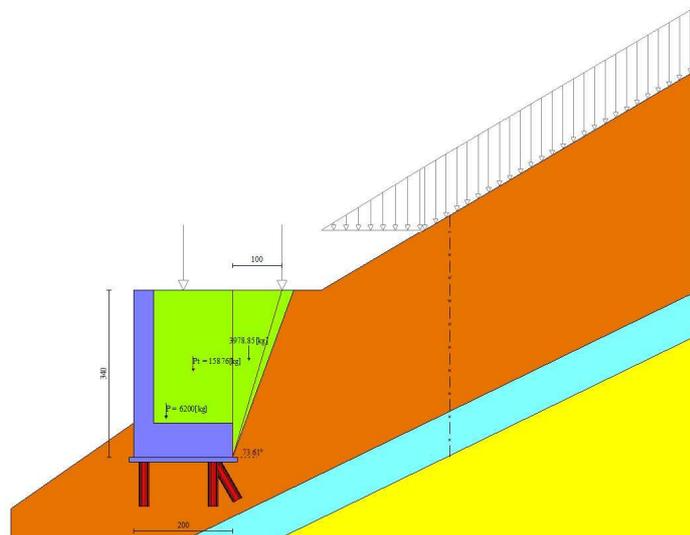


Fig. 11 - Cuneo di spinta (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

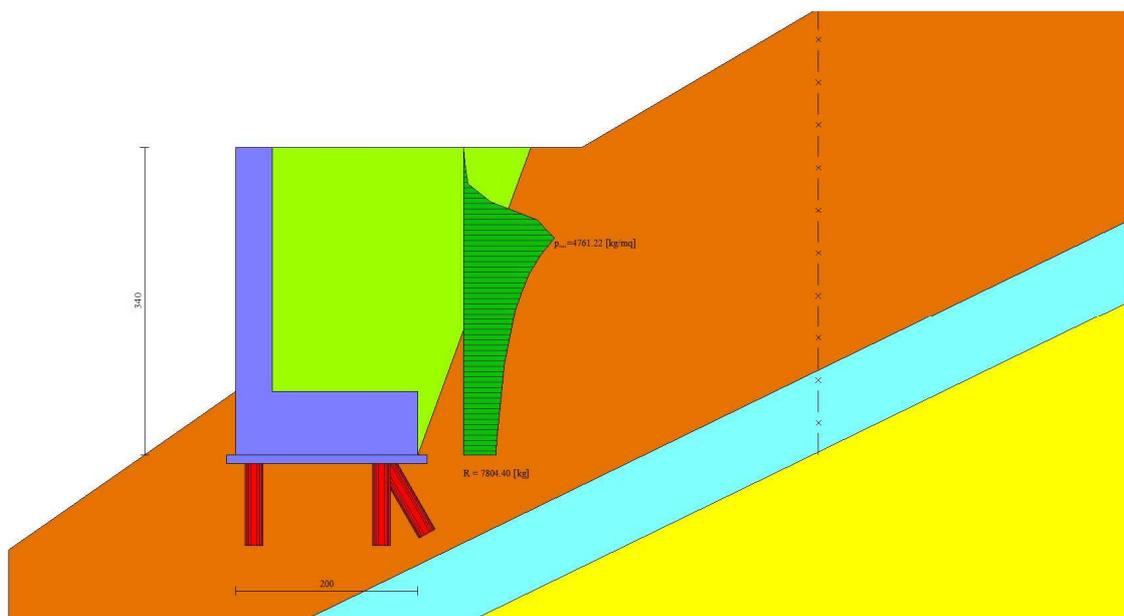


Fig. 12 - Diagramma delle pressioni (combinazione statica) (Combinazione n° 1)

Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

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

Cmb	Ip	N [kg]	M [kgm]	T [kg]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	-20868	-1486	-1352
	2	20306	-1485	-1379
	3	29440	-1506	-1407

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)		13.234					
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	10.654					
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	11.293					
4 - GEO (A2-M2-R2)					2.380		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				2.252		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				2.377		

*Verifiche portanza trasversale (scorrimento)*

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
T	Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Td	Portanza trasversale di progetto, espresso in [kg]
FS <sub>o</sub>	Fattore di sicurezza (Td/T)

Ic	Ip	T [kg]	Td [kg]	FS <sub>o</sub>
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-1309	1888	1.442
	2	-1361	1912	1.405
	3	-1389	1923	1.385

*Verifiche portanza verticale*

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
N	Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kg]
Pd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS <sub>v</sub>	Fattore di sicurezza (Pd/N)

Ic	Ip	N [kg]	Pd [kg]	FS <sub>v</sub>
1 - STR (A1-M1-R3)	1	-20868	74912	3.590
	2	20306	89111	4.389
	3	29440	89111	3.027
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-28871	74912	2.595
	2	19599	89377	4.560
	3	22657	89377	3.945

**Dettagli calcolo portanza verticale**

Simbologia adottata

n°	Indice palo
Nc, Nq	Coeff. di capacità portante
N'c, N'q	Coeff. di capacità portante corretti
Zc	Massima profondità andamento pressione geostatica, espressa in [m]
Pp, Pl	Portanza di punta e laterale caratteristica, espresse in [kg]
A	Attrito negativo, espresso in [kg]
Wp	Peso palo, espresso in [kg]

n°	Nc	N'c	Nq	N'q	Zc	Pp	Pl	A	Wp
					[m]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22	0	157303	0	888
						0	157303		
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.24	23471	156474	0	888
						23471	156474		
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.22	23471	156474	0	888
						23471	156474		

**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]	
5 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-4.50; 4.50	19.72	2.252

**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 [kg]
Qy	carico sulla striscia espresso in [kg]
$\alpha$	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 [kg/cmq]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Tx; Ty	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

n°	W	Qy	b	$\alpha$	$\phi$	c	u	Tx; Ty
	[kg]	[kg]	[m]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg]
1	16112	0	15.08 - 1.18	76.039	30.000	1.00	0.000	
2	24135	0	1.18	64.867	30.000	1.00	0.000	
3	28240	0	1.18	57.619	30.000	1.00	0.000	
4	30954	3071	1.18	51.648	30.000	1.00	0.000	
5	32823	5608	1.18	46.394	30.000	1.00	0.000	
6	34090	5608	1.18	41.611	30.000	1.00	0.000	
7	34889	5608	1.18	37.162	30.000	1.00	0.000	
8	35303	5608	1.18	32.964	30.000	1.00	0.000	
9	35390	4361	1.18	28.958	30.000	1.00	0.000	
10	35197	1247	1.18	25.102	30.000	1.00	0.000	
11	35606	0	1.18	21.364	30.000	1.00	0.000	
12	36765	0	1.18	17.721	30.000	1.00	0.000	
13	35585	0	1.18	14.150	30.000	1.00	0.000	
14	28858	0	1.18	10.634	30.000	1.00	0.000	
15	24778	0	1.18	7.159	30.000	1.00	0.000	
16	22291	0	1.18	3.711	30.000	1.00	0.000	
17	20621	0	1.18	0.275	30.000	1.00	0.000	
18	18800	0	1.18	-3.159	30.000	1.00	0.000	
19	16829	0	1.18	-6.605	30.000	1.00	0.000	
20	14704	0	1.18	-10.075	30.000	1.00	0.000	
21	12421	0	1.18	-13.583	30.000	1.00	0.000	
22	9973	0	1.18	-17.143	30.000	1.00	0.000	
23	7353	0	1.18	-20.774	30.000	1.00	0.000	
24	4549	0	1.18	-24.495	30.000	1.00	0.000	
25	1544	0	-14.44 - 1.18	-28.131	27.000	0.50	0.000	

Resistenza al taglio pali 0 [kg]

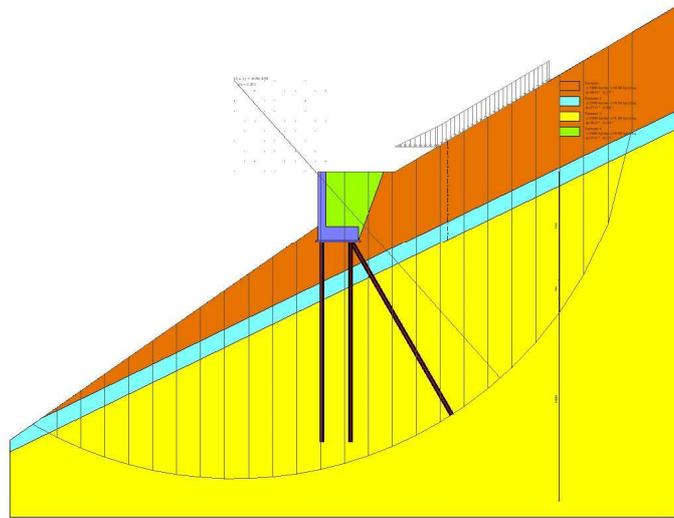


Fig. 13 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 5)