

# PROVINCIA DI BENEVENTO

S.P. n. 50 Km 0+700 - lavori di messa in sicurezza movimento franoso alla località "Feo" del comunedi Foiano V.F: e ripristino piano viabileProgetto definitivo

## Progetto definitivo

scala	Elaborato
	1S

## Calcolo strutturale

### GRAFICI

- Relazione di calcolo anche ai sensi del punto 10.2 delle NTC 2018
- Rappresentazione grafica scorrimento pendio, sollecitazioni e spettri
- Calcolo strutturale del muro su pali
- Verifica pendio
- Relazione geotecnica e sulle fondazioni
- Relazione sui materiali
- Piano di manutenzione
- Pianta e sezione muro con sezione stratigrafica
- Armatura muro e pali



Impresa

Collaudatore

Strutturista

Ing. Pasquale Di Santo

**Comune di Foiano Valfortore**  
*Provincia di Benevento*

**RELAZIONE DI CALCOLO**  
**Anche ai sensi del Cap. 10.2 delle NTC 2018**  
**ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L' AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO**

# Indice generale

<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>CARATTERISTICHE DEL MURO.....</b>	<b>4</b>
<b>TEORIA DI CALCOLO .....</b>	<b>7</b>
<b>ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO.....</b>	<b>14</b>
<b>AFFIDABILITA' DEI CODICI UTILIZZATI.....</b>	<b>14</b>
<b>VALIDAZIONE DEI CODICI.....</b>	<b>14</b>
<b>PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI .....</b>	<b>14</b>
<b>INFORMAZIONI SULL'ELABORAZIONE .....</b>	<b>15</b>
<b>GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' .....</b>	<b>16</b>

***RELAZIONE TECNICA***  
***Anche ai sensi del Cap. 10.2 delle NTC 2018***  
**ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L' AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO**

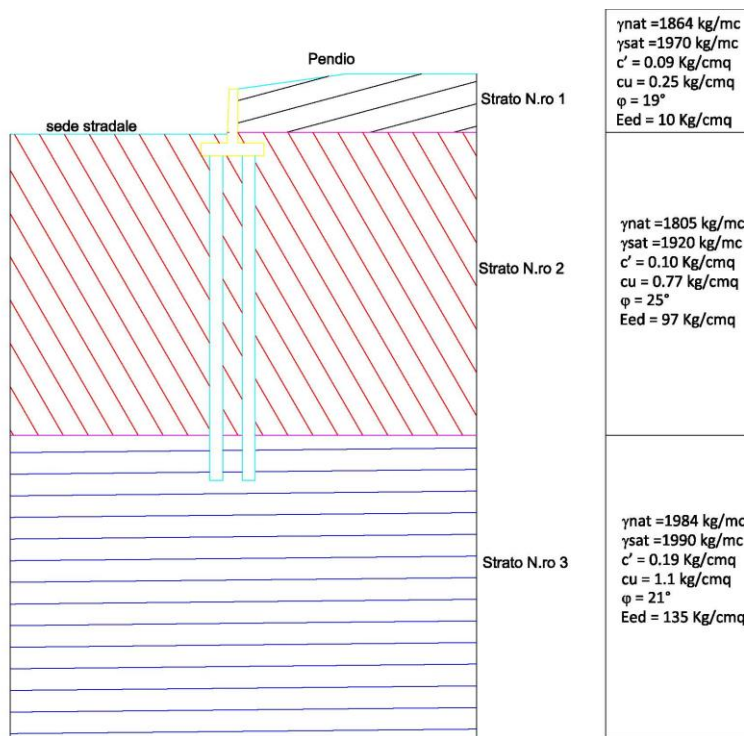
Sono illustrati con la presente i risultati dei calcoli che riguardano il calcolo delle spinte, le verifiche di stabilità e di resistenza di muri di sostegno.

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono condotti nel pieno rispetto della normativa vigente e, in particolare, la normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo, verifica e progettazione è costituita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel suppl. 8 G.U. 42 del 20/02/2018, nonché la Circolare del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21 Gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”.

## CARATTERISTICHE DEL MURO

Il muro oggetto di calcolo ha una estensione lineare pari a 36 mt diviso da un giunto tecnico totale, quindi il modello di calcolo è riferito a una striscia di mt 18. Esso ha una fondazione su pali in numero di 15 per ognuna delle due striscia giuntate e una profondità di mt 15. I pali hanno un diametro di 60 cm.



### GEOMETRIA MURO 1

#### MURO A MENSOLA IN CEMENTO ARMATO

Altezza del paramento:	2,50	m
Spessore del muro in testa (sezione orizzontale):	40	cm
Scostamento della testa del muro (positivo verso monte):	0	cm
Spessore del muro alla base (sezione orizzontale):	50	cm

### GEOMETRIA MURO 1

FONDAZIONE SU PALI			
Lunghezza della mensola di fondazione a valle:	120		cm
Lunghezza della mensola di fondazione a monte:	120		cm
Spessore della zattera di fondazione:	60		cm
Inclinazione del piano di posa della fondazione:	0		°
Sviluppo della fondazione: giuntata	18 x 2		m
	strisce		
Diametro dei pali o del foro dei micropali:	60		cm
Lunghezza complessiva dei pali:	15		m
Interasse tra i pali:	240		cm
Tratto di palo svettante fuori terra:	0		cm
Tipo disposizione file pali: sfalsata.	-----		----
Fattore correlaz. CSI per il calcolo di Rk pali:	1.7		----

	Fila N.	Distanza dalla fila precedente o dal bordo		Inclinazione dei pali (positiva verso valle)	
	1	40	cm	0,0	
	2	210	cm	0,0	

### COMBINAZIONI MURO 1

#### COMBINAZIONI DI CARICO S.L.U. A 1

Comb	Cond.1	Cond.2	Cond.3	Cond.4	Cond.5	Cond.6	Cond.7	Cond.8	Cond.9	Cond.10	Sisma
1	1,50										0,00
2	1,00										1,00

### DATI DI CALCOLO

#### PARAMETRI SISMICI

Vita Nominale	(Anni)	50	Classe d' Uso	SECONDA
Longitudine Est	(Grd)	15,02649	Latitudine Nord	(Grd) style="text-align: center;">41,36153
Categoria Suolo		B	Coeff. Condiz. Topogr.	1,00000
Probabilita' Pvr (SLV)		0,10000	Periodo Ritorno Anni (SLV)	475,00000
Accelerazione Ag/g (SLV)		0,16400	Fattore Stratigrafia 'S'	1,20000
Probabilita' Pvr (SLD)		0,63000	Periodo Ritorno Anni (SLD)	50,00000
Accelerazione Ag/g (SLD)		0,06200	-----	

#### TEORIE DI CALCOLO

Verifiche effettuate con il metodo degli stati limite ultimi  
Portanza dei pali calcolata con la teoria di Norme A.G.I.

#### CRITERI DI CALCOLO

Non e' considerata l'azione sismica dovuta ai sovraccarichi sul terrapieno.  
Non e' considerata l'azione sismica dovuta alle forze applicate al muro.  
Non si tiene conto dell'effetto stabilizzante delle forze applicate al muro.

Rapporto tra il taglio medio e quello nel palo piu' caricato: 1,00

Percentuale spinta a valle per la verifica a scorrimento	50
Percentuale spinta a valle per la verifica a ribaltam.	0
Percentuale spinta a valle per la verifica in fondazione	100
Percentuale spinta a valle per calcolo sollecitazioni	100

#### COEFFICIENTI PARZIALI GEOTECNICA

	TABELLA M1	TABELLA M2
Tangente Resist. Taglio	1,00	1,25
Peso Specifico	1,00	1,00
Coesione Efficace (c'k)	1,00	1,25

COMBINAZIONI MURO 1											
COMBINAZIONI DI CARICO S.L.U. A 1											
Comb	Cond.1	Cond.2	Cond.3	Cond.4	Cond.5	Cond.6	Cond.7	Cond.8	Cond.9	Cond.10	Sisma
Resist. a taglio NON drenata (cuk)								1,00		1,40	
Tipo Approccio						Combinazione Unica: (A1+M1+R3)					
Tipo di fondazione						Superficiale					
COEFFICIENTI R3			R3 STATICI			R3 SISMICI			R3 PALI		
Capacita' Portante			1,40			1,20					
Scorrimento			1,10			1,00					
Ribaltamento			1,15			1,00					
Resist. Terreno Valle			1,40			1,20					
Resist. alla Base									1,35		
Resist. Lat. a Compr.									1,35		
Resist. Lat. a Traz.									1,25		
Carichi Trasversali									1,30		

DATI TERRAPIENO MURO 1						
Muro n.1						
DATI TERRAPIENO						
Altezza del terrapieno a monte nel punto di contatto col muro:		2.5			m	
Altezza del terrapieno a valle nel punto di contatto col muro:		1			m	
Inclinaz. media terreno valle(positivo se scende verso valle):		0			°	
Angolo di attrito tra fondazione e terreno:		15			°	
Adesione tra fondazione e terreno:		0	Kg/cmq			
Angolo di attrito tra fondazione e terreno in presenza acqua:		15			°	
Adesione tra fondazione e terreno in presenza di acqua:		0	Kg/cmq			
Permeabilita' Terreno:BASSA						
Muro Vincolato:SI						
Coefficiente BetaM:1						
Coefficiente di intensita' sismica orizzontale:.196						
Coefficiente di intensita' sismica verticale:.098						
<p>Coordinate dei vertici aggiuntivi per la determinazione della spezzata dell'estradosso del terrapieno a monte e a valle. Le coordinate sono fornite per il terrapieno a monte rispetto al punto iniziale (ovvero piu' a sinistra), mentre per il terrapieno a valle sono riferite al punto piu' in basso a sinistra della fondazione.</p>						
POLIGONALE MONTE			POLIGONALE VALLE			
Vertice	Ascissa m	Ordinata m	Vertice	Ascissa m	Ordinata m	
1	5,00	0,70				

## DATI STRATIGR. MURO 1

### STRATIGRAFIA DEL TERRENO

STRATO n.	1 :		
Spessore dello strato:		2,00	m
Angolo di attrito interno del terreno:		19	°
Angolo di attrito tra terreno e muro:		17	°
Coesione del terreno in condizioni drenate:		0,09	Kg/cm <sup>q</sup>
Adesione tra il terreno e il muro in condizioni drenate:		0,06	Kg/cm <sup>q</sup>
Peso specifico apparente del terreno in assenza di acqua:		1970	Kg/mc
Coesione del terreno in condizioni non drenate:		0,25	Kg/cm <sup>q</sup>
Adesione tra il terreno e il muro in condizioni non drenate:		0,00	Kg/cm <sup>q</sup>
Peso specifico efficace del terreno sommerso:		1864	Kg/mc
Coefficiente di Lambe per attrito negativo pali:		0,00	
STRATO n.	2 :		
Spessore dello strato:		14,00	m
Angolo di attrito interno del terreno:		25	°
Angolo di attrito tra terreno e muro:		17	°
Coesione del terreno in condizioni drenate:		0,10	Kg/cm <sup>q</sup>
Adesione tra il terreno e il muro in condizioni drenate:		0,05	Kg/cm <sup>q</sup>
Peso specifico apparente del terreno in assenza di acqua:		1920	Kg/mc
Coesione del terreno in condizioni non drenate:		0,77	Kg/cm <sup>q</sup>
Adesione tra il terreno e il muro in condizioni non drenate:		0,00	Kg/cm <sup>q</sup>
Peso specifico efficace del terreno sommerso:		1805	Kg/mc
Coefficiente di Lambe per attrito negativo pali:		0,00	
STRATO n.	3 :		
Spessore dello strato:		16,00	m
Angolo di attrito interno del terreno:		21	°
Angolo di attrito tra terreno e muro:		14	°
Coesione del terreno in condizioni drenate:		0,19	Kg/cm <sup>q</sup>
Adesione tra il terreno e il muro in condizioni drenate:		0,00	Kg/cm <sup>q</sup>
Peso specifico apparente del terreno in assenza di acqua:		1990	Kg/mc
Coesione del terreno in condizioni non drenate:		1,10	Kg/cm <sup>q</sup>
Adesione tra il terreno e il muro in condizioni non drenate:		0,00	Kg/cm <sup>q</sup>
Peso specifico efficace del terreno sommerso:		1984	Kg/mc
Coefficiente di Lambe per attrito negativo pali:		0,00	

## TEORIA DI CALCOLO

### calcolo delle spinte

Si suppone valida l'ipotesi in base alla quale la spinta attiva si ingenera in seguito al movimento del manufatto nella direzione della spinta agente. Le ipotesi di base per il calcolo della spinta sono le seguenti, le medesime adottate dal metodo di calcolo secondo *Coulomb*, con l'estensione di *Muller-Breslau* e *Mononobe-Okabe*:

- In fase di spinta attiva si crea all'interno del terrapieno un cuneo di spinta, che si distacca dal terreno indisturbato tramite linee di frattura rettilinee, lungo le quali il cuneo scorre generando tensioni tangenziali dovute all'attrito.



- Sul cuneo di spinta agiscono le seguenti forze: peso proprio del terreno, sovraccarichi applicati sull'estradosso del terrapieno, spinte normali alle superfici di scorrimento del cuneo (da una parte contro il paramento e dall'altra contro la porzione di terreno indisturbato), forze di attrito che si innescano lungo le superfici del cuneo e che si oppongono allo scorrimento.

- In condizioni sismiche, al peso proprio del cuneo va aggiunta una componente orizzontale, ed eventualmente anche una verticale, pari al peso complessivo moltiplicato per il prodotto dei coefficienti sismici.

- Il fatto che il muro ha spostamenti significativi fa in modo che l'attrito che si genera è pari al valore massimo possibile, sia in condizioni di spinta attiva che di spinta passiva, quindi le risultanti delle reazioni sulle pareti del cuneo risultano inclinate di un angolo  $f$  rispetto alla normale alla superficie di scorrimento.

Il programma *C.D.W. Win*, pur adottando le stesse ipotesi, piuttosto che utilizzare la formula di *Coulomb* in forma chiusa, applica la procedura originaria derivante dall'equilibrio delle forze agenti sul cuneo di spinta, cercando il valore di massimo della spinta per tentativi successivi su tutti i possibili cunei di spinta. Così facendo si possono aggiungere alle ipotesi già indicate le seguenti generalizzazioni, che invece devono essere trascurate utilizzando i metodi classici:

- Il terreno spingente può essere costituito da diversi strati, separati da superfici di forma generica, con caratteristiche geotecniche differenti.

- Il profilo dell'estradosso del terrapieno spingente può avere una forma generica qualsiasi, purché coerente con le caratteristiche del terreno.

- I sovraccarichi agenti sul terrapieno possono avere una distribuzione assolutamente libera.

- Può essere tenuta in conto la coesione interna del terreno e la forza di adesione tra terreno e muro.

- Si può calcolare la spinta di un muro con mensola aerea stabilizzante a monte, al di sotto della quale si crea un vuoto nel terreno.

- È possibile conoscere l'esatto andamento delle pressioni agenti sul profilo del muro anche nei casi sopra detti, in cui tale andamento non è lineare, ma la cui distribuzione incide sul calcolo delle sollecitazioni interne.

- Si può supporre anche l'esistenza una linea di rottura del cuneo interna, che va dal vertice estremo della mensola di fondazione a monte fino a intersecare il paramento, inclinata di un certo angolo legato a quello di attrito interno del terreno stesso. Si può quindi conoscere l'esatta forma del cuneo di spinta, per cui le forze in gioco variano in quanto solo una parte di esso è a contatto con il paramento. Il peso proprio del terreno portato sarà solo quello della parte di terrapieno che realmente rimarrà solidale con la fondazione e non risulterà interessato da scorrimenti, quindi in generale un triangolo. Ciò fa sì che il peso gravante sulla fondazione può risultare notevolmente inferiore a quello ricavato con i metodi usuali, dal momento che una parte è già stata conteggiata nel cuneo di spinta.

Per quanto riguarda la spinta passiva, quella del terrapieno a valle, le uniche differenze rispetto a quanto detto consistono nel fatto che le forze di attrito e di coesione tra le superfici di scorrimento del cuneo hanno la direzione opposta che nel caso di spinta attiva, nel senso che si oppongono a un moto di espulsione verso l'alto del cuneo, e la procedura iterativa va alla ricerca di un valore minimo piuttosto che un massimo.

Nei casi di fondazione su pali o muri tirantati si può ritenere più giusto adottare un tipo di spinta a riposo, che considera il cuneo di terreno non ancora formato e spostamenti dell'opera nulli o minimi. Tale spinta è in ogni caso superiore a quella attiva e la sua entità si dovrebbe basare su considerazioni meno semplicistiche. Il programma opera prendendo come riferimento una costante di spinta pari a:

$$K_0 = 1 - 0,9 \times \tan \phi$$

essendo  $\phi$  l'angolo di attrito interno del terreno, formula che si trova diffusamente in letteratura. Se tale deve essere la costante di spinta per un terreno uniforme, ad estradosso rettilineo orizzontale e privo di sovraccarichi e di azione sismica, viene ricavato un fattore di riduzione dell'angolo di attrito interno del terreno, tale che utilizzando questo angolo ridotto e la consueta procedura per il calcolo della spinta attiva, la costante fittizia di spinta attiva corrisponda alla costante a riposo della formula sopra riportata.

Una volta ricavato questo fattore riduttivo, il programma procede al calcolo con le procedure standard, mettendo in gioco le altre variabili, quali la sagomatura dell'estradosso e degli strati, la presenza di sovraccarichi variamente

distribuiti e la condizione sismica. La giustificazione di ciò risiede nella considerazione in base alla quale in condizioni di spinta a riposo, gli spostamenti interni al terreno sono ridotti rispetto alla spinta attiva, quindi l'attrito che si mobilita è una parte di quello massimo possibile, e di conseguenza la spinta risultante cresce.

In base a queste considerazioni di ordine generale, il programma opera come segue:

- Si definisce la geometria di tutti i vari cunei di spinta di tentativo, facendo variare l'angolo di scorrimento dalla parte di monte da 0 fino al valore limite  $90 - \phi$ . Quindi in caso di terreno multistrato, la superficie di scorrimento sarà costituita da una spezzata con inclinazioni differenti da strato a strato. Ciò assicura valori di spinta maggiori rispetto a una eventuale linea di scorrimento unica rettilinea. L'angolo di scorrimento interno, quello dalla parte del paramento, qualora si attivi la procedura "*Coulomb estes*" è posto pari a  $3/4$  dell'angolo utilizzato a monte. Tale percentuale è quella che massimizza il valore della spinta. È possibile però attivare la procedura "*Coulomb classico*", in cui tale superficie si mantiene verticale, ma utilizzando in ogni caso l'angolo di attrito tra terreno e muro.
- Si calcola l'entità complessiva dei sovraccarichi agenti sul terrapieno che ricadono nella porzione di estradosso compresa nel cuneo di spinta.
- Si calcola il peso proprio del cuneo di spinta e le eventuali componenti sismiche orizzontali e verticali dovute al peso proprio ed eventualmente anche ai sovraccarichi agenti sull'estradosso.
- Si calcolano le eventuali azioni tangenziali sulle superfici interne dovute alla coesione interna e all'adesione tra terreno e muro.
- In base al rispetto dell'equilibrio alla traslazione verticale e orizzontale, nota l'inclinazione delle spinte sulle superfici interne (pari all'angolo di attrito), sviluppato in base a tutte le forze agenti sul concio, si ricavano le forze incognite, cioè le spinte agenti sul paramento e sulla superficie di scorrimento interna del cuneo.
- Si ripete la procedura per tutti i cunei di tentativo, ottenuti al variare dell'angolo alla base. Il valore massimo (minimo nel caso di spinta passiva) tra tutti quelli calcolati corrisponde alla spinta del terrapieno.

#### • **COMBINAZIONI DI CARICO**

Il programma opera in ottemperanza alle norme attuali per quanto riguarda le combinazioni di carico da usare per i vari tipi di verifiche. In particolare viene rispettato quanto segue.

- Le verifiche di resistenza del paramento e della fondazione SLU vengono effettuate in base alle combinazioni di carico del tipo A1, riportate nei tabulati di stampa.
- Le verifiche geotecniche di portanza e scorrimento vengono effettuate in base alle combinazioni di tipo A1 e A2, in caso di approccio del tipo 1, oppure utilizzando le sole combinazioni del tipo A1, in caso di approccio 2.
- Il sisma verticale viene considerato alternativamente in direzione verso l'alto e verso il basso. La spinta riportata nei tabulati si riferisce al caso in cui la spinta risulta maggiore.
- Le verifiche al ribaltamento vengono svolte utilizzando i coefficienti riportati in norma nella tabella 6.2.I secondo le modalità previste dalla norma stessa, annullando quindi i contributi delle singole azioni che abbiano un effetto stabilizzante.
- I coefficienti delle combinazioni di carico riportati nei tabulati di stampa si riferiscono esclusivamente ai sovraccarichi applicati sul terrapieno e sul muro stesso. Il peso proprio strutturale del muro e quello del terreno di spinta vengono trattati in base a quanto prevede la norma per i pesi propri strutturali e non strutturali, a prescindere dai coefficienti utilizzati per le varie combinazioni.

#### □ **CAPACITA' PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE**

La portanza limite per ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche del terreno dei vari strati attraversati dal palo. E' data dalla somma della portata alla punta e la portata per attrito laterale. I calcoli sono eseguiti secondo le norme A.G.I. La formula di seguito riportata è un'estensione di quella classica in quanto tiene conto del fatto che il terreno può presentare strati con caratteristiche differenti. Gli angoli vanno espressi in radianti.

Nel caso di terreni coesivi ( $cm > 0$ ):

$$Ra = \pi \cdot D \cdot l \cdot \alpha \cdot cm$$

$$Rb = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (9 \cdot cb + \pi m \cdot l)$$

essendo (esprimendo cm in Kg/cmq):

$$a = 0,9 \text{ per } cm \leq 0,25$$

$$a = 0,8 \text{ per } 0,25 < cm \leq 0,50$$

$$a = 0,6 \text{ per } 0,50 < cm \leq 0,75$$

$$a = 0,4 \text{ per } 0,75 < cm$$

Nel caso di terreni incoerenti ( $cm=0$ ):

$$Ra = \pi \cdot D \cdot \frac{l}{2} \cdot \sum [K \cdot \tau \cdot h^2 \cdot \tan \phi + 2 \cdot h \cdot \tan \phi \cdot \sum (\tau \cdot h)]$$

essendo:

$$K = \frac{1}{7} \cdot \frac{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}{1 - \tan(0,8 \cdot \phi) \cdot (1 - \sin \phi)}$$

con la prima sommatoria estesa a tutti gli strati e la seconda a tutti quelli soprastanti lo strato i-esimo.

$$Rb = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \pi m \cdot l \cdot Nq$$

il termine  $Nq$  è funzione di  $f_b$  e del rapporto  $h / D$ , ricavato per interpolazione lineare in base alla seguente tabella (valida nel caso di  $D$  minore o uguale al diametro limite impostato nei dati generali, pari a 60 o 80 cm):

$f_b$	0	28	30	32	34	36	38	40	
$Nq$	0	12	17	25	40	58	89	137	per $h / D = 25$
$Nq$	0	9	14	22	37	56	88	136	per $h / D = 50$

o in base a quest'altra (per  $D$  maggiore del diametro limite):

$f_b$	0	25	30	35	40	
$Nq$	0	4,0	10,0	18,8	32,8	per $h / D = 4$
$Nq$	0	5,2	8,8	15,2	28,5	per $h / DS = 32$

In presenza di fenomeni di attrito negativo, al carico agente sul palo va aggiunto il seguente termine:

$$R_{neg} = p \cdot D \cdot t_m \cdot l \cdot Lambe$$

La simbologia usata nella formula precedente è la seguente:

$D$	= diametro del palo
$L$	= lunghezza del palo
$H$	= spessore dello strato di terreno attraversato
$Ra$	= portanza per attrito laterale
$Rb$	= portanza alla base
$t$	= peso specifico del terreno del singolo strato
$t_m$	= peso specifico in media pesata sugli strati
$f$	= angolo di attrito interno del terreno del singolo strato
$cb$	= coesione del terreno dello strato di base
$cm$	= coesione in media pesata sugli strati
$Lambe$	= coefficiente di Lambe per il calcolo dell'attrito negativo

Tale formula si riferisce alla portata del singolo palo isolato; nel caso di pali ravvicinati, si considera un coefficiente riduttivo di gruppo, funzione dell'interasse tra i pali rapportato al diametro. Ai fini del calcolo del coefficiente di sicurezza alla portanza, al carico di esercizio agente sul palo si somma il peso proprio del palo stesso.

- **MURI IN CALCESTRUZZO A MENSOLA**

Sulle sezioni del paramento e delle varie mensole, aeree e di fondazione, si effettua il progetto delle armature e le verifiche a presso-flessione e taglio in corrispondenza di tutte le sezioni singolari (punti di attacco e di spigolo) e in tutte quelle intermedie ad un passo pari a quello imposto nei dati generali. Vengono applicate le formule classiche relative alle sezioni rettangolari in cemento armato, con il progetto dell'armatura necessaria.

- **PALI DI FONDAZIONE**

I pali di fondazione collegati alla zattera di fondazione risultano sollecitati, oltre che a sforzo normale e a taglio, anche a momento flettente indotto dal taglio. Tali sollecitazioni sono diverse per i pali delle varie file, per cui la verifica viene ripetuta tutte le volte che è necessario.

Il taglio agente sul palo si ottiene dividendo la spinta complessiva del muro per il numero dei pali, ricavando la componente normale al palo di tale forza e moltiplicandola per il coefficiente di ripartizione del taglio assegnato nei dati generali. Circa il momento flettente, il calcolo viene effettuato con il metodo degli elementi finiti, utilizzando il modello di trave su suolo alla *Winkler* sottoposta ad una forza tagliante ad un estremo. Nel caso di tratto sveltante viene aggiunto un tratto di palo non contrastato dall'azione del terreno. Ai fini del calcolo il palo è suddiviso in tronchi per i quali la costante di *Winkler* varia con la profondità. In mancanza di dati espliciti forniti in input, la costante di *Winkler* viene ricavata con la seguente espressione (cfr. *Bowles – Fondazioni*, pag. 649):

$$K_w = 40 \cdot (c \cdot N_c + 0,5 \cdot g \cdot 1 \cdot N_g) + 40 \cdot g \cdot N_q \cdot z$$

essendo:

- c = coesione
- g = peso specifico efficace
- Nc, Nq, Ng = coefficienti di portanza
- z = ascissa della profondità

La verifica del palo viene effettuata con un calcolo a presso-flessione, per tutte le combinazioni di carico previste e per tutte le file di pali.

Per quanto riguarda la zattera di fondazione collegata ai pali, viene anche calcolata l'armatura trasversale, ipotizzando, in maniera semplificata, l'esistenza di tante travi in cemento armato che collegano i pali lungo ciascuna fila, incastrate in corrispondenza delle teste dei pali e caricate dal peso proprio e del terreno su essa gravante.

L'interazione cinematica, dove valutata, palo-terreno è calcolata secondo le Norme NEHRP:

- Per lo strato omogeneo:

$$M(z) = E_p \cdot I_p \cdot \frac{a(z)}{V_s^2}$$

in cui:

- $E_p$  = modulo elastico longitudinale del palo
- $I_p$  = momento di inerzia del palo
- $a(z)$  = accelerazione sismica alla quota z
- $V_s$  = velocità efficace delle onde di taglio dello strato

- Per il cambio strato:

$$M(z) = 0,042 \cdot S \cdot \frac{a}{g} \cdot g_1 \cdot h_1 \cdot d^3 \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0,3} \cdot \left(\frac{E_p}{E_1}\right)^{0,65} \cdot \left(\frac{V_{s2}}{V_{s1}}\right)^{0,5}$$

in cui:

- $E_p$  = modulo elastico longitudinale del palo
- $E_1$  = modulo elastico dello strato superiore
- $S \cdot \frac{a}{g}$  = accelerazione (in frazioni di g) sismica alla superficie
- $g_1$  = peso specifico strato superiore
- $h_1$  = altezza dello strato superiore
- $d$  = diametro del palo
- $L$  = lunghezza del palo
- $V_{s1}; V_{s2}$  = velocità efficaci delle onde di taglio negli strati superiore ed inferiore

I dati relativi all'interazione cinematica palo-terreno, hanno il significato seguente:

<b>Crit. N.ro</b>	: Numero del criterio di progetto
<b>Profond (m)</b>	: Profondità (media) che individua lo strato superiore in cui calcolare il momento per il cambio strato
<b>Vs1 ; Vs2</b>	: Velocità delle onde di taglio negli strati superiore ed inferiore
<b>Vs1/Vs1eff</b>	: Rapporto di decadimento della velocità efficace delle onde Vs2/Vs2eff di taglio del terreno soprastante (1) o sottostante (2) la quota di verifica in condizioni sismiche
<b>Vs</b>	: Velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo
<b>Vs/Vseff</b>	: Rapporto di decadimento della velocità efficace delle onde di taglio del terreno nello strato omogeneo

## π CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI DI FONDAZIONE

La resistenza limite per ciascun palo è calcolata in base alle caratteristiche del terreno dei vari strati attraversati dal palo. I calcoli sono eseguiti secondo la teoria di *Broms*. Gli angoli vanno espressi in radianti. In generale la pressione resistente lungo il fusto del palo viene calcolata in base alle due seguenti espressioni, valide per condizioni non drenate e drenate. La resistenza complessiva si ricava integrando tale pressione per la lunghezza del palo, tenendo così conto della presenza di diversi strati. Nei tabulati verrà riportato il valore minimo del carico limite tra condizioni drenata e non drenata. In condizioni non drenate si ha:

$$P_u = 9 \times C_u \times D$$

Il carico limite si ricava da tale valore della pressione limite, estesa per tutto lo sviluppo del palo con eccezione del tratto iniziale per una lunghezza di 1,5 diametri. In condizioni drenate invece si ha:

$$P = (3 \times K_p \times g \times z + 9 \times C) \times D$$

Il carico limite si ricava da tale valore della pressione limite, estesa per tutto lo sviluppo del palo. La simbologia usata è

la seguente:

$D$  = diametro del palo

$C_u$  = coesione non drenata

$C$  = coesione drenata

$K_p$  = costante di spinta passiva

$g$  = peso specifico del terreno

$z$  = profondità

Tali formule si riferiscono alla portata del singolo palo isolato; nel caso di pali ravvicinati, si considera un coefficiente riduttivo di gruppo, funzione dell'interasse tra i pali rapportato al diametro.

## Origine e Caratteristiche dei codici di calcolo

Produttore	S.T.S. srl
Titolo	CDW Win
Versione	2019
Nro Licenza	15754

Ragione sociale completa del produttore del software:

S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l.

***Via Tre Torri n°11 – Complesso Tre Torri  
95030 Sant'Agata li Battiati (CT).***

### Affidabilità dei codici utilizzati

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l., a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente on-line i test sui casi prova liberamente consultabili all'indirizzo:

<http://www.stsweb.it/area-utenti/test-validazione.html>

### Validazione dei codici

L'opera in esame non è di importanza tale da necessitare un calcolo indipendente eseguito con altro software da altro calcolista

### Presentazione sintetica dei risultati

Una sintesi del comportamento della struttura è consegnata nelle tabelle di sintesi dei risultati, riportate in appresso, e nelle rappresentazioni grafiche allegate in coda alla presente relazione in cui sono rappresentate le principali grandezze (deformate, sollecitazioni, etc..) per le parti più sollecitate della struttura in esame.

Tabellina riassuntiva delle verifiche SLU

Tipo di Verifica	Non Verificati su Totale	Coefficiente Sicurezza	Status Verifica
<b>Ribaltamento</b>	Assente su		
<b>Scorrimento</b>	Assente su		
<b>Portanza Fondaz. Diretta</b>	Assente su		
<b>Portanza Pali</b>	0 su 1	1.03	#Status PorP#
<b>Portanza Micropali</b>	Assente su		
<b>Ancoraggio Tiranti</b>	Assente su		
<b>Sifonamento</b>	Assente su		
<b>Stabilità Globale</b>	Assente su		
<b>Resistenza Muro C.A.</b>	0 su 1	---	Verificato
<b>Resistenza Muro Gravità</b>	Assente su	---	
<b>Resistenza Pali</b>	0 su 1	---	Verificato
<b>Resistenza Micropali</b>	Assente su	---	
<b>Resistenza Tiranti</b>	Assente su	---	

Tabellina riassuntiva delle verifiche SLE

Tipo di Verifica	Non Verificati su Totale	Coefficiente Sicurezza	Status Verifica
<b>Fessurazione C.A. Muri</b>	0 su 1	---	Verificato
<b>Tensioni C.A. Muri</b>	0 su 1	---	Verificato
<b>Fessurazione C.A. Pali</b>	0 su 1	---	Verificato
<b>Tensioni C.A. Pali</b>	0 su 1	---	Verificato
<b>Cedimenti Fond. Diretta</b>	Assente su		
<b>Cedimenti Fond. Su Pali</b>	0 su 1	1000000	Verificato

### Informazioni sull'elaborazione

Il software e' dotato di propri filtri e controlli di autodiagnostica che intervengono sia durante la fase di definizione del modello sia durante la fase di calcolo vero e proprio.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello generato.
- Controlli a priori sui valori assegnati alle caratteristiche meccaniche dei materiali e del terreno.
- Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.
- Rappresentazioni grafiche di post-processo che consentono di evidenziare eventuali anomalie sfuggite all' autodiagnostica automatica.



### **Giudizio motivato di accettabilita'**

Il software utilizzato ha permesso di modellare analiticamente il comportamento fisico del complesso struttura-terreno.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello hanno consentito di controllare sia la coerenza geometrica che la adeguatezza delle azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali: spinte e sollecitazioni, hanno permesso un immediato controllo di tali valori con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati della struttura stessa.

Si è infine eseguito il calcolo delle spinte del terreno con metodologie semplificate e, confrontandole i valori delle stesse prodotte in automatico dal programma, si è potuto riscontrare la congruenza di tali risultati con i valori riportati dal software.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato tutte esito positivo.

Da quanto sopra esposto si può quindi affermare che il calcolo è andato a buon fine e che il modello di calcolo utilizzato è risultato essere rappresentativo della realtà fisica, anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.