

REGIONE MARCHE  
PROVINCIA DI FERMO  
COMUNE DI FERMO

IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI  
RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA PRODUZIONE DI BIOMETANO

CIG: 9880245C18 – CUP: F62F18000070004

PROGETTO ESECUTIVO

NOME ELABORATO	CLASSE	<b>10.12</b>
BOX CARRI BOMBOLAI	STRUTTURE BOX CARRI BOMBOLAI	
TABULATO DI VERIFICA GEOTECNICA	N. TAVOLA	<b>10.12.2</b>
CODIFICA ELABORATO	FORMATO	<b>A4</b>
	SCALA	/
<b>23008-OW-C-101-RS-061-MA1-0</b>		

00	28/06/2024	PRIMA EMISSIONE	B.BARONE	C. BUTTICE'	R. MARTELLO
<b>REV</b>	<b>DATA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>ESEGUITO</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>APPROVATO</b>

Committente	Progettista indicato	Mandataria
 <p><b>CITTA' DI FERMO</b> <b>Settore IV e V</b> <b>Lavori Pubblici, Protezione Civile,</b> <b>Ambiente, Urbanistica, Patrimonio,</b> <b>Contratti e Appalti</b> Via Mazzini 4 63900 – Fermo (FM)  <b>DOTT. Mauro Fortuna</b> RUP</p>	 <p>OWAC ENGINEERING COMPANY Via Resuttana 360 90142 -PALERMO  OWAC Engineering Company S.R.L. <b>ING. Rocco Martello</b> Direttore Tecnico</p>	 <p>Via del Cardoncello 22 70022 – Altamura (BA) EDILALTA S.R.L. <b>DOTT. Angelantonio Disabato</b> Socio</p> <p><b>Mandante</b></p>  <p>Fueling a Sustainable World™ Via Bassa di Casalmoro 3 46041 – Asola (MN) ANAERGIA S.R.L. <b>DOTT. Andrea Parisi</b> Institore</p>



**Città di Fermo**  
**Settore IV e V**  
Lavori Pubblici, Protezione  
Civile, Ambiente, Urbanistica,  
Patrimonio, Contratti e Appalti

PROGETTAZIONE ESECUTIVA "IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO  
DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA  
PRODUZIONE DI BIOMETANO"  
**CIG: 9880245C18 CUP: F62F18000070004**

00	B.BARONE	27/06/2024	C.BUTTICE'	28/06/2024	R.MARTELLO	28/06/2024	
REV	ESEGUITO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA	

MANDATARIA



MANDANTE



PROGETTISTA INDICATO



**RELAZIONE SUI MATERIALI**

REV. 00

Pag. 2 di 3

# RELAZIONE GEOTECNICA E DELLE FONDAZIONI

## PREMESSA

Il tabulato di seguito riportato dimostra come le scelte progettuali rendono la struttura idonea resistere alle azioni che la sollecitano durante la sua vita utile.

Il tipo di fondazione è mista in quanto ai pali viene assegnato il compito di sostenere i carichi verticali e di contenere i cedimenti, in vece alla platea di fondazione viene assegnato il compito principale di verifica all scorimento trasversale longitudinale, come indicato nei §§6.4.3.3, 7.11.5.3.2, C7.11.5.3.2.

Il calcestruzzo della platea è C32/40, la classe di esposizione è XC4. Lo spessore della piastra è di cm 50.

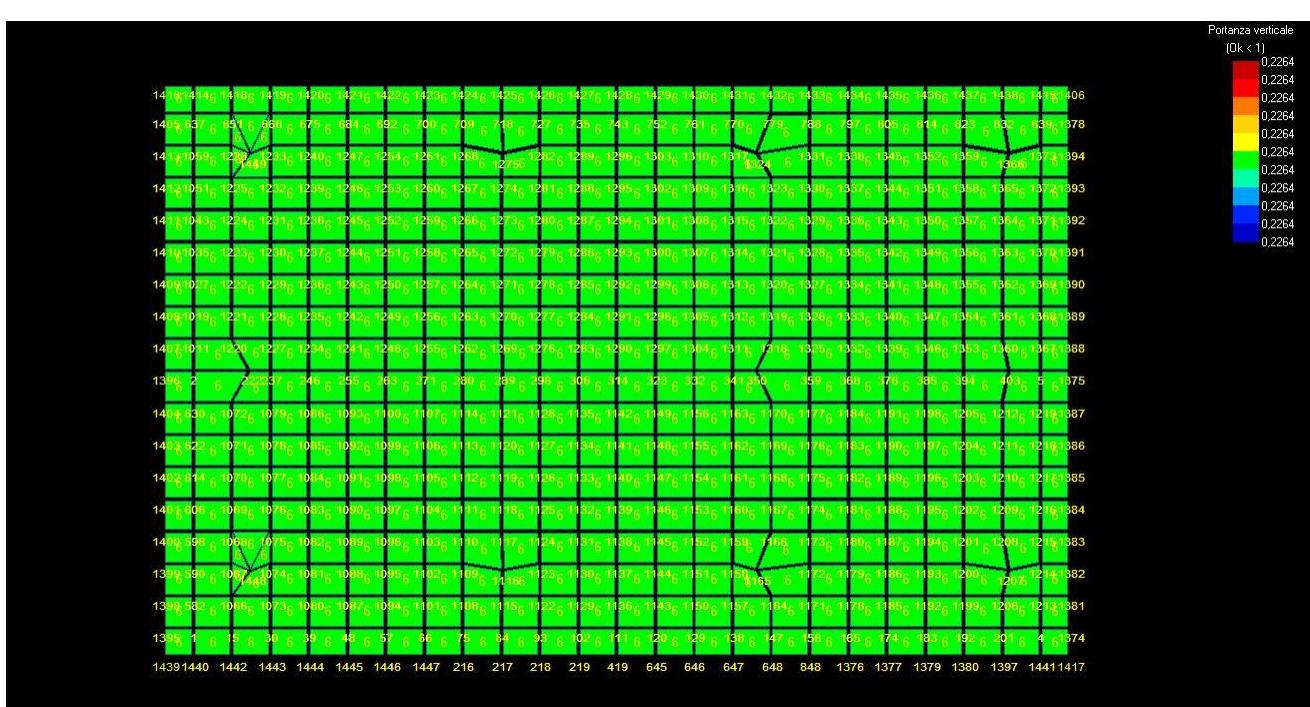
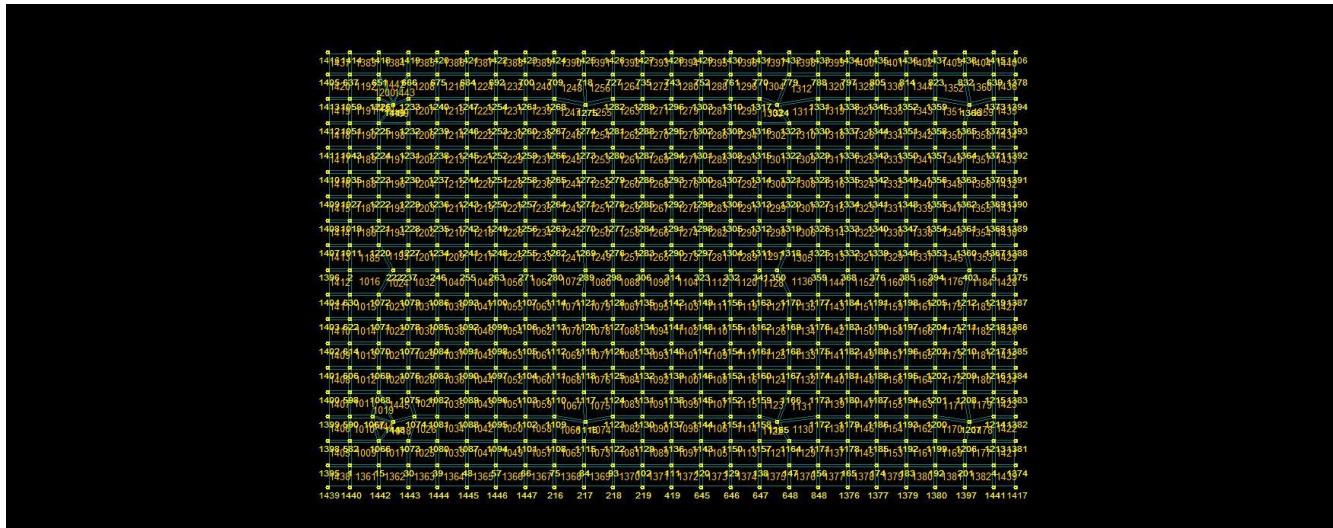


Figura 2 – Verifica portanza verticale

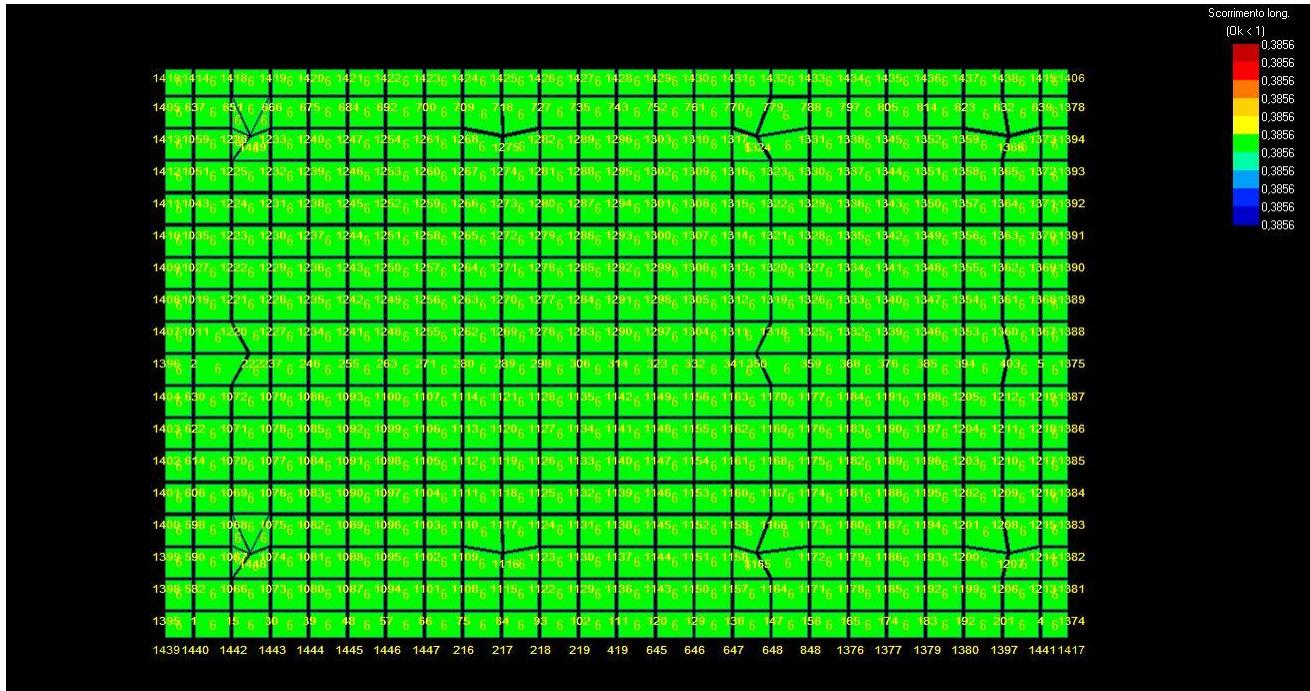
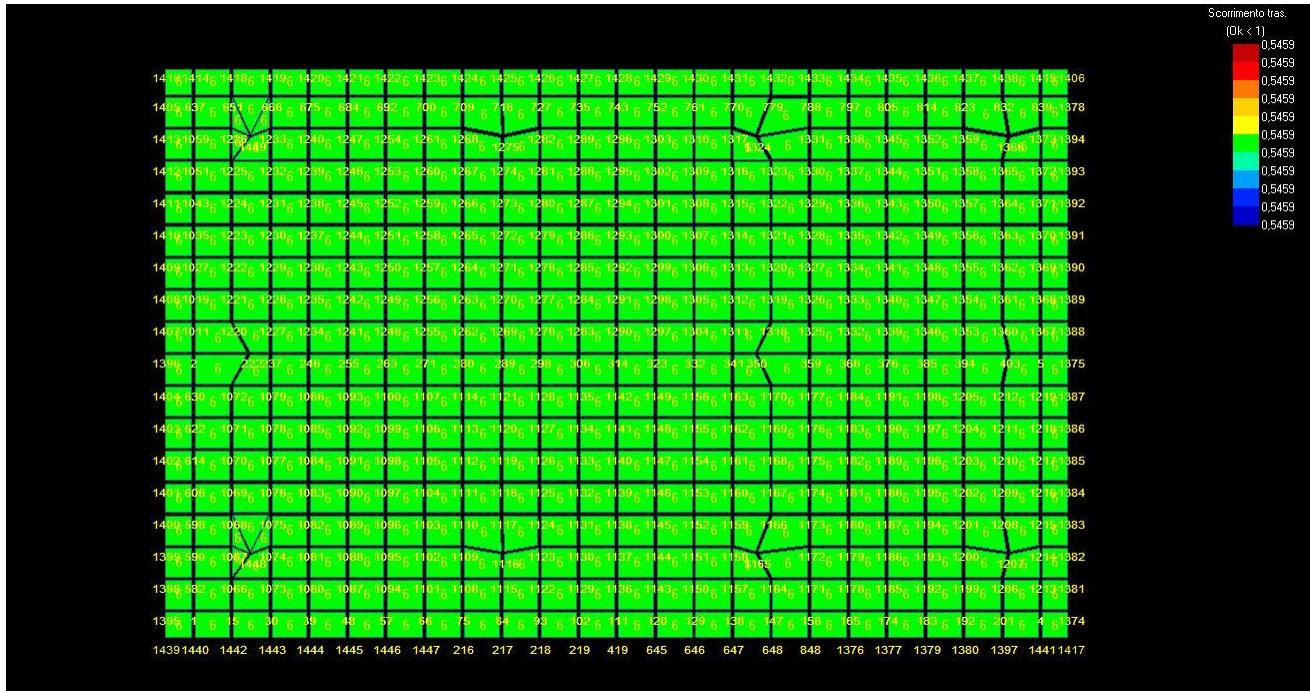


Figura 3 - Verifica portanza laterale



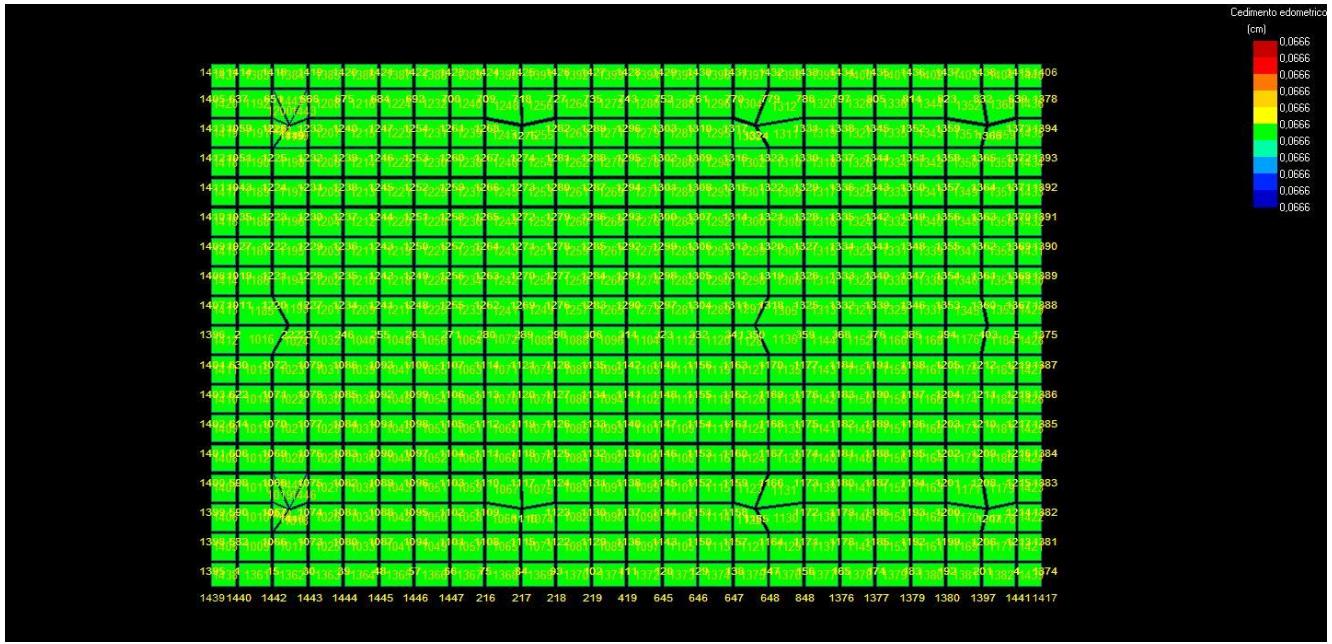


Figura 5 - stato del cedimento verticale

## NORMATIVE DI RIFERIMENTO

In quanto di seguito riportato viene fatto esplicito riferimento alle seguenti Normative:

- **LEGGE n° 64 del 02/02/1974.** "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.;"
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988.** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.;"
- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996.** "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.;"
- **Circolare Ministeriale LL.PP. n° 65/A.A.GG. del 10/04/1997.** "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/1996.;"
- **Eurocodice 1 - Parte 1 -** "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Basi di calcolo -.;"
- **Eurocodice 7 - Parte 1 -**"Progettazione geotecnica - Regole generali -.;"
- **Eurocodice 8 - Parte 5 -**"Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici -.;"
- **D.M. 17/01/2018 - NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019**

## INDAGINI IN SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

La finalità della presente relazione è quella di definire il comportamento meccanico del volume di terreno (volume significativo) influenzato direttamente o indirettamente dalla costruzione di un manufatto e che a sua volta influenza il comportamento strutturale del manufatto stesso. Di seguito si illustrano i risultati delle indagini geologiche eseguite, nonché l'interpretazione dei risultati ottenuti. Dal quadro generale in tal modo scaturito si definiscono le caratteristiche della fondazione da adottare ed il modello da utilizzare per le elaborazioni relative alla interazione sovrastruttura-fondazione e fondazione-terreno.

Le risultanze dell'indagine in sito hanno evidenziato che:

Di seguito si riportano alcuni cenni teorici relativi alle modalità di calcolo implementate e la descrizione della simbologia adottata nei tabulati.

## CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI

Per la determinazione del carico limite del complesso terreno-fondazione (inteso come valore asintotico del diagramma carico-cedimento) si fa riferimento a due principali meccanismi di rottura: il "meccanismo generale" e quello di "punzonamento". Il primo è caratterizzato dalla formazione di una superficie di scorrimento: il terreno sottostante la fondazione rifluisce lateralmente e verso l'alto, conseguentemente il terreno circostante la fondazione è interessato da un meccanismo di sollevamento ed emersione della superficie di scorrimento. Il secondo meccanismo è caratterizzato dall'assenza di una superficie di scorrimento ben definita: il terreno sotto la fondazione si comprime ed in corrispondenza della superficie del terreno circostante la fondazione si osserva un abbassamento generalizzato. Quest'ultimo meccanismo non consente una precisa individuazione del carico limite in quanto la curva cedimenti-carico applicato non raggiunge mai un valore asintotico ma cresce indefinitamente. Vesic ha studiato il fenomeno della rottura per punzonamento assimilando il terreno ad un mezzo elasto-plastico e la rottura per carico limite all'espansione di una cavità cilindrica. In questo caso il fenomeno risulta retto da un indice di rigidezza " $I_r$ " così definito:

$$I_r = \frac{G}{c' + \sigma' \cdot \tan(\varphi)}.$$

Per la determinazione del modulo di rigidezza a taglio si utilizzeranno le seguenti relazioni:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}; \quad E = E_{ed} \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}; \quad \nu = \frac{k_0}{1 + k_0}; \quad k_0 = 1 - \sin(\varphi).$$

L'indice di rigidezza viene confrontato con l'indice di rigidezza critico " $I_{r,crit}$ ":

$$I_{r,crit} = \frac{e^{\left[ \left( 3.3 - 0.45 \frac{B}{L} \right) \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}}{2}.$$

La rottura per punzonamento del terreno di fondazione avviene quando l'indice di rigidezza è minore di quello critico. Tale teoria comporta l'introduzione di coefficienti correttivi all'interno della formula trinomia del carico limite detti "coefficienti di punzonamento" i quali sono funzione dell'indice di rigidezza, dell'angolo d'attrito e della geometria dell'elemento di fondazione. La loro espressione è la seguente:

- se  $I_r < I_{r,crit}$  si ha :

$$\Psi_\gamma = \Psi_q = e^{\left[ \left( 0.6 \frac{B}{L} - 4.4 \right) \operatorname{tg}(\varphi) + \frac{3.07 \cdot \sin(\varphi) \log_{10}(2 \cdot I_r)}{1 + \sin(\varphi)} \right]} \quad \text{se } \varphi = 0 \Rightarrow \Psi_\gamma = \Psi_q = 1$$

$$\Psi_c = \Psi_q - \frac{1 - \Psi_q}{N_c \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad \text{se } \varphi = 0 \Rightarrow \Psi_c = 0.32 + 0.12 \cdot \frac{B}{L} + 0.6 \cdot \log_{10}(I_r)$$

- se  $I_r > I_{r,crit}$  si ha che  $\Psi_\gamma = \Psi_q = \Psi_c = 1$ .

Il significato dei simboli adottati nelle equazioni sopra riportate è il seguente:

- $E_{ed}$  modulo edometrico del terreno sottostante la fondazione
- $\nu$  coefficiente di Poisson del terreno sottostante la fondazione
- $k_0$  coefficiente di spinta a riposo del terreno sottostante la fondazione
- $\varphi$  angolo d'attrito efficace del terreno sottostante il piano di posa
- $c'$  coesione (espressa in termini di tensioni efficaci)
- $\sigma'$  tensione litostatica effettiva a profondità  $D+B/2$
- $L$  luce delle singole travi di fondazione
- $D$  profondità del piano di posa della fondazione a partire dal piano campagna
- $B$  larghezza della trave di fondazione

Definito il meccanismo di rottura, il calcolo del carico limite viene eseguito modellando il terreno come un mezzo rigido perfettamente plastico con la seguente espressione:

$$q_{ult} = \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot \Psi_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot \Psi_c + \gamma_2 \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma.$$

Il significato dei termini presenti nella relazione trinomia sopra riportata è il seguente:

- $N_q, N_c, N_\gamma$ , fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno  $\varphi$  del terreno
- $s_q, s_c, s_\gamma$ , coefficienti che rappresentano il fattore di forma
- $d_q, d_c, d_\gamma$ , coefficienti che rappresentano il fattore dell'approfondimento
- $i_q, i_c, i_\gamma$ , coefficienti che rappresentano il fattore di inclinazione del carico
- $\gamma_1$  peso per unità di volume del terreno sovrastante il piano di posa
- $\gamma_2$  peso per unità di volume del terreno sottostante il piano di posa

Per fondazioni aventi larghezza modesta si dimostra che il terzo termine non aumenta indefinitamente e per valori elevati di "B", sia secondo Vesic che secondo de Beer, il valore limite è prossimo a quello di una fondazione profonda. Bowles per fondazioni di larghezza maggiore di 2.00 metri propone il seguente fattore riduttivo:

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \cdot \log_{10} \left( \frac{B}{2} \right) \quad \text{dove "B" va espresso in metri.}$$

Questa relazione risulta particolarmente utile per fondazioni larghe con rapporto D/B basso (platee e simili), caso nel quale il terzo termine dell'equazione trinomia è predominante.

Nel caso di carico eccentrico Meyerhof consiglia di ridurre le dimensioni della superficie di contatto ( $A_f$ ) tra fondazione e terreno (B, L) in tutte le formule del calcolo del carico limite. Tale riduzione è espressa dalle seguenti relazioni:

$$B_{rid} = B - 2 \cdot e_B \quad L_{rid} = L - 2 \cdot e_L \quad \text{dove } e_B, e_L \text{ sono le eccentricità relative alle dimensioni in esame.}$$

L'equazione trinomia del carico limite può essere risolta secondo varie formulazioni, di seguito si riportano quelle che sono state implementate:

### **Formulazione di Hansen (1970)**

$$N_q = \operatorname{tg}^2 \left( \frac{90^\circ + \varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = 1 + \frac{N_q \cdot B}{N_c \cdot L}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$\text{dove: se } \frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}, \text{ se } \frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg} \left( \frac{D}{B} \right)$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{\alpha_1} \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{\alpha_2} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 0.5 \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}} \right)$$

### **Formulazione di Vesic (1975)**

$$N_q = \operatorname{tg}^2 \left( \frac{90^\circ + \varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = 1 + \frac{N_q \cdot B}{N_c \cdot L}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

dove: se  $\frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}$ , se  $\frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{B}\right)$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^m \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{m+1} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$\text{dove: } m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad m = m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

### Formulazione di Brinch-Hansen

$$N_q = \operatorname{tg}^2\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + 0.1 \cdot \frac{B \cdot (1 + \operatorname{sen}(\varphi))}{L \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))} \quad s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot \frac{B \cdot (1 + \operatorname{sen}(\varphi))}{L \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))} \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B \cdot (1 + \operatorname{sen}(\varphi))}{L \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}$$

dove: se  $\frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}$ , se  $\frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{B}\right)$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^m \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^{m+1} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$\text{dove: } m = m_B = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad m = m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

### Formulazione Eurocodice 7

$$N_q = \operatorname{tg}^2\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} \quad N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

- se  $\varphi \neq 0$  si ha:

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \operatorname{sen}(\varphi) \quad s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L} \quad s_c = \frac{s_q \cdot (N_q - 1)}{N_q - 1}$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot (1 - \operatorname{sen}(\varphi))^2 \cdot \Theta \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

dove: se  $\frac{D}{B} \leq 1 \Rightarrow \Theta = \frac{D}{B}$ , se  $\frac{D}{B} > 1 \Rightarrow \Theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{D}{B}\right)$

- se H è parallela al lato B si ha:

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^3 \quad i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^3 \quad i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

- se H è parallela al lato L si ha:

$$i_q = 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \quad i_\gamma = 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)} \quad i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

- se  $\varphi = 0$  si ha:

$$s_q = 1.0 \quad s_\gamma = 1.0 \quad s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}$$

$$d_q = 1.0 \quad d_\gamma = 1.0 \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \Theta$$

$$i_q = 1.0 \quad i_\gamma = 1.0 \quad i_c = 0.5 \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A_f \cdot c_a}} \right)$$

Si ricorda che per le relazioni sopra riportate nel caso in cui  $\varphi = 0 \Rightarrow N_q = 1.0$ ,  $N_\gamma = 1.0$  e  $N_c = 2 + \pi$ .

Il significato dei termini presenti nelle relazioni su descritte è il seguente:

- V componente verticale del carico agente sulla fondazione
- H componente orizzontale del carico agente sulla fondazione (sia lungo B che lungo L)
- $c_a$  adesione fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione)
- $\alpha_1, \alpha_2$  esponenti di potenza che variano tra 2 e 5

Nel caso in cui il cuneo di fondazione sia interessato da falda idrica il valore di  $\gamma_2$  nella formula trinomia assume la seguente espressione:

$$\gamma_2 = \frac{\gamma \cdot z + \gamma_{sat} \cdot (h_c - z)}{h_c} \quad h_c = \frac{B}{2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90 + \varphi}{2}\right)$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $\gamma$  peso per unità di volume del terreno sottostante il piano di posa
- $\gamma_{sat}$  peso per unità di volume saturo del terreno sottostante il piano di posa
- $z$  profondità della falda dal piano di posa
- $h_c$  altezza del cuneo di rottura della fondazione

Tutto ciò che è stato detto sopra è valido nell'ipotesi di terreno con caratteristiche geotecniche omogenee. Nella realtà i terreni costituenti il piano di posa delle fondazioni sono quasi sempre composti, o comunque riconducibili, a formazioni di terreno omogenee di spessore variabile che si sovrappongono (caso di terreni stratificati). In queste condizioni i parametri vengono determinati con la seguente procedura:

- viene determinata l'altezza del cuneo di rottura in funzione delle caratteristiche geotecniche degli strati attraversati; quindi si determinato il numero degli strati interessati da esso
- in corrispondenza di ogni superficie di separazione, partendo da quella immediatamente sottostante il piano di posa della fondazione, fino a raggiungere l'altezza del cuneo di rottura, viene determinata la capacità portante di ogni singolo strato come somma di due valori: il primo dato dall'applicazione della formula trinomia alla quota  $i$ -esima dello strato; il secondo dato dalla resistenza al punzonamento del terreno sovrastante lo strato in esame
- il minimo di questi due valori sarà assunto come valore massimo della capacità portante della fondazione stratificata

Si può formulare il procedimento anche in forma analitica:

$$q_{ult} = \left[ q_{ult}'' + q_{resT} \right]_{\min} = \left[ q_{ult}'' + \frac{p}{A_f} (P_V \cdot K_s \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + d \cdot c) \right]_{\min}$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $q_{ult}''$  carico limite per un'ipotetica fondazione posta alla quota dello strato interessato

- $p$  perimetro della fondazione
- $P_V$  spinta verticale del terreno dal piano di posa allo strato interessato
- $K_S$  coefficiente di spinta laterale del terreno
- $d$  distanza dal piano di posa allo strato interessato

## CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU ROCCIA

Per la determinazione del carico limite nel caso di presenza di ammasso roccioso bisogna valutare molto attentamente il grado di solidità della roccia stessa. Tale valutazione viene in genere eseguita stimando l'indice  $RQD$  (Rock Quality Designation) che rappresenta una misura della qualità di un ammasso roccioso. Tale indice può variare da un minimo di 0 (caso in cui la lunghezza dei pezzi di roccia estratti dal carotiere è inferiore a 100 mm) ad un massimo di 1 (caso in cui la carota risulta integra) ed è calcolato nel seguente modo:

$$RQD = \frac{\sum \text{lunghezze dei pezzi di roccia intatta} > 100\text{mm}}{\text{lunghezza del carotiere}}.$$

Se il valore di  $RQD$  è molto basso la roccia è molto fratturata ed il calcolo della capacità portante dell'ammasso roccioso va condotto alla stregua di un terreno sciolto utilizzando tutte le formulazioni sopra descritte.

Per ricavare la capacità portante di rocce non assimilabili ad ammassi di terreno sciolto sono state implementate due formulazioni: quella di Terzaghi (1943) e quella di Stagg-Zienkiewicz (1968), entrambe correlate all'indice RQD. In definitiva il valore della capacità portante sarà espresso dalla seguente relazione:

$$q_{ult}^{''} = q_{ult}' \cdot RQD^2$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $q_{ult}'$  carico limite dell'ammasso roccioso
- $q_{ult}^{''}$  carico limite calcolato alla Terzaghi o alla Stagg-Zienkiewicz

In questo caso l'equazione trinomia del carico limite assume la seguente forma:

$$q_{ult}^{''} = \gamma_1 \cdot D \cdot N_q + c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma_2 \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma.$$

I termini presenti nell'equazione hanno lo stesso significato già visto in precedenza; i coefficienti di forma assumeranno i seguenti valori:

$s_c = 1.0$  per fondazioni di tipo nastriforme       $s_c = 1.3$  per fondazioni di tipo quadrato;

$s_\gamma = 1.0$  per fondazioni di tipo nastriforme       $s_\gamma = 0.8$  per fondazioni di tipo quadrato

I fattori adimensionali di portanza a seconda della formulazione adottata saranno:

### Formulazione di Terzaghi (1943)

$$N_q = \frac{e^{2\left(0.75\pi - \frac{\varphi}{2}\right)\operatorname{tg}(\varphi)}}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right)} \quad N_\gamma = \frac{\operatorname{tg}(\varphi)}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2(\varphi)} - 1 \right) \quad N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\varphi)$$

se  $\varphi = 0 \Rightarrow N_c = 1.5 \cdot \pi + 1$

$\varphi$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$K_{p\gamma}$	10.8	12.2	14.7	18.6	25.0	35.0	52.0	82.0	141.0	298.0	800.0

### Formulazione di Stagg-Zienkiewicz (1968)

$$N_q = \operatorname{tg}^6\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right) \quad N_\gamma = N_q + 1 \quad N_c = 5 \cdot \operatorname{tg}^4\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right)$$

## VERIFICA A ROTTURA PER SCORRIMENTO DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

Se il carico applicato alla base della fondazione non è normale alla stessa bisogna effettuare anche una

verifica per rottura a scorrimento. Rispetto al collasso per scorrimento la resistenza offerta dal sistema fondale viene valutata come somma di due componenti: la prima derivante dall'attrito fondazione-terreno, la seconda derivante dall'adesione. In generale, oltre a queste due componenti, può essere tenuto in conto anche l'effetto della spinta passiva del terreno di ricoprimento esercita sulla fondazione fino ad un massimo del 30%. La formulazione analitica della verifica può essere esposta nel seguente modo:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd} = N_{Sd} \cdot \tan(\delta) + A_f \cdot c_a + S_p \cdot f_{Sp}$$

dove i termini dell'espressione hanno il seguente significato:

- $T_{Sd}$  componente orizzontale del carico agente sulla fondazione (sia lungo B che lungo L)
- $N_{Sd}$  componente verticale del carico agente sulla fondazione
- $c_a$  adesione fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% della coesione)
- $\delta$  angolo d'attrito fondazione-terreno (valore variabile tra il 60% e 100% dell'angolo di attrito)
- $S_p$  spinta passiva del terreno di ricoprimento della fondazione
- $f_{Sp}$  percentuale di partecipazione della spinta passiva
- $A_f$  superficie di contatto del piano di posa della fondazione

La verifica deve essere effettuata sia per componenti taglienti parallele alla base della fondazione che per quelle ortogonali.

## DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI INDOTTE NEL TERRENO

Ai fini del calcolo dei cedimenti è essenziale conoscere lo stato tensionale indotto nel terreno a varie profondità da un carico applicato in superficie. Tale determinazione viene eseguita ipotizzando che il terreno si comporti come un mezzo continuo, elastico-lineare, omogeneo e isotopo. Tale assunzione, utilizzata per la determinazione della variazione delle tensioni verticali dovuta all'applicazione di un carico in superficie, è confortata dalla letteratura (Morgenstern e Phukan) perché la non linearità del materiale poco influenza la distribuzione delle tensioni verticali. Per ottenere un profilo verticale di pressioni si possono utilizzare tre metodi di calcolo: quello di Boussinesq, quello di Westergaard oppure quello di Mindlin; tutti basati sulla teoria del continuo elastico. Il metodo di Westergaard differisce da quello di Boussinesq per la presenza del coefficiente di Poisson "u", quindi si adatta meglio ai terreni stratificati. Il metodo di Mindlin differisce dai primi due per la possibilità di posizionare il carico all'interno del continuo elastico mentre i primi due lo pongono esclusivamente sulla frontiera quindi si presta meglio al caso di fondazioni molto profonde. Nel caso di fondazioni poste sulla frontiera del continuo elastico il metodo di Mindlin risulta equivalente a quello di Boussinesq. Le espressioni analitiche dei tre metodi di calcolo sono:

$$\text{Boussinesq} \Rightarrow \Delta\sigma_v = \frac{3 \cdot Q \cdot z^3}{2 \cdot \pi \cdot (r^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} \quad \text{Westergaard} \Rightarrow \Delta\sigma_v = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot z^2} \cdot \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot \nu}{2 - 2 \cdot \nu}} \cdot \left( \frac{1 - 2 \cdot \nu}{2 - 2 \cdot \nu} + \frac{r^2}{z^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $Q$  carico puntiforme applicato sulla frontiera del mezzo
- $r$  proiezione orizzontale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame
- $z$  proiezione verticale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame

$$\text{Mindlin} \Rightarrow \Delta\sigma_v = \frac{Q}{8 \cdot \pi \cdot (1 - \nu) \cdot D^2} \left( \begin{array}{l} - \frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot (m - 1)}{A^3} + \frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot (m - 1)}{B^3} - \frac{3 \cdot (m - 1)^3}{A^5} - \frac{30 \cdot m \cdot (m + 1)^3}{B^7} - \\ - \frac{3 \cdot (3 - 4 \cdot \nu) \cdot m \cdot (m + 1)^2 - 3 \cdot (m + 1) \cdot (5 \cdot m - 1)}{B^5} \end{array} \right)$$

$$n = \frac{r}{D}; \quad m = \frac{z}{D}; \quad A^2 = n^2 + (m - 1)^2; \quad B^2 = n^2 + (m + 1)^2$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $Q$  carico puntiforme applicato sulla frontiera o all'interno del mezzo
- $D$  proiezione verticale della distanza del punto di applicazione del carico dalla frontiera del mezzo

- $r$  proiezione orizzontale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame
- $z$  proiezione verticale della distanza del punto di applicazione del carico dal punto in esame

Basandosi sulle ben note equazioni ricavate per un carico puntiforme, l'algoritmo implementato esegue un'integrazione delle equazioni di cui sopra lungo la verticale di ogni punto notevole degli elementi fondali estesa a tutte le aree di carico presenti sulla superficie del terreno; questo consente di determinare la variazione dello stato tensionale verticale " $\Delta\sigma_v$ ". Bisogna sottolineare che, nel caso di pressione, "Q" va definito come "pressione netta", ossia la pressione in eccesso rispetto a quella geostatica esistente che può essere sopportata con sicurezza alla profondità "D" del piano di posa delle fondazioni. Questo perché i cedimenti sono causati solo da incrementi netti di pressione che si aggiungono all'esistente pressione geostatica.

## CALCOLO DEI CEDIMENTI DELLA FONDAZIONE

La determinazione dei cedimenti delle fondazioni assume una rilevanza notevole per il manufatto da realizzarsi, in special modo nella fase di esercizio. Nell'evolversi della fase di cedimento il terreno passa da uno stato di sforzo corrente dovuto al peso proprio ad uno nuovo dovuto all'effetto del carico addizionale applicato. Questa variazione dello stato tensionale produce una serie di movimenti di rotolamento e scorrimento relativo tra i granuli del terreno, nonché deformazioni elastiche e rotture delle particelle costituenti il mezzo localizzate in una limitata zona d'influenza a ridosso dell'area di carico. L'insieme di questi fenomeni costituisce il cedimento che nel caso in esame è verticale. Nonostante la frazione elastica sia modesta, l'esperienza ha dimostrato che ai fini del calcolo dei cedimenti modellare il terreno come materiale pseudoelastico permette di ottenere risultati soddisfacenti. In letteratura sono descritti diversi metodi per il calcolo dei cedimenti ma si ricorda che, qualunque sia il metodo di calcolo, la determinazione del valore del cedimento deve intendersi come la miglior stima delle deformazioni subite dal terreno da attendersi all'applicazione dei carichi. Nel seguito vengono descritte le teorie implementate:

**Metodo edometrico**, che si basa sulla nota relazione:

$$w_{ed} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma_{v,i}}{E_{ed,i}} \cdot \Delta z_i$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $\Delta\sigma_{v,i}$  variazione dello stato tensionale verticale alla profondità " $z_i$ " dello strato  $i$ -esimo per l'applicazione del carico
- $E_{ed,i}$  modulo edometrico del terreno relativo allo strato  $i$ -esimo
- $\Delta z_i$  spessore dello strato  $i$ -esimo

Si ricorda che questo metodo si basa sull'ipotesi edometrica quindi l'accuratezza del risultato è maggiore quando il rapporto tra lo spessore dello strato deformabile e la dimensione in pianta delle fondazioni è ridotto, tuttavia il metodo edometrico consente una buona approssimazione anche nel caso di strati deformabili di spessore notevole.

**Metodo dell'elasticità**, che si basa sulle note relazioni:

$$w_{imp.} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma_{v,i}}{E_i} \cdot \Delta z_i \quad w_{lib.} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma_{v,i}}{E_i} \cdot \frac{1-2\cdot\nu^2}{1-\nu} \cdot \Delta z_i$$

dove i termini dell'espressioni hanno il seguente significato:

- $w_{imp.}$  cedimento in condizioni di deformazione laterale impedita
- $w_{lib.}$  cedimento in condizioni di deformazione laterale libera
- $\Delta\sigma_{v,i}$  variazione dello stato tensionale verticale alla profondità " $z_i$ " dello strato  $i$ -esimo per l'applicazione del carico
- $E_i$  modulo elastico del terreno relativo allo strato  $i$ -esimo
- $\Delta z_i$  spessore dello strato  $i$ -esimo

La doppia formulazione adottata consente di ottenere un intervallo di valori del cedimento elastico per la fondazione in esame (valore minimo per  $w_{imp.}$  e valore massimo per  $w_{lib.}$ ).

## SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO

Per maggior chiarezza nella lettura dei tabulati di calcolo viene riportata la descrizione dei simboli principali utilizzati nella stesura degli stessi. Per comodità di lettura la legenda è suddivisa in paragrafi con la stessa modalità in cui sono stampati i tabulati di calcolo.

### **Dati geometrici degli elementi constituenti le fondazioni superficiali**

*per tipologie travi e plinti superficiali:*

- Indice Strat. indice della stratigrafia associata all'elemento
- Prof. Fon. profondità del piano di posa dell'elemento a partire dal piano campagna
- Base larghezza della sezione trasversale dell'elemento
- Altezza altezza della sezione trasversale dell'elemento
- Lung. Elem. dimensione dello sviluppo longitudinale dell'elemento
- Lung. Travata nel caso l'elemento appartenga ad un macroelemento, rappresenta la dimensione dello sviluppo longitudinale del macroelemento

*per tipologia platea:*

- Indice Strat. indice della stratigrafia associata all'elemento
- Prof. Fon. profondità del piano di posa dell'elemento dal piano campagna
- Dia. Eq. diametro del cerchio equivalente alla superficie dell'elemento
- Spessore spessore dell'elemento
- Superficie superficie dell'elemento
- Vert. Elem. Numero dei vertici che costituiscono l'elemento
- Macro nel caso l'elemento appartenga ad un macroelemento, rappresenta il numero del macroelemento

Nel caso si avesse scelto di determinare la portanza anche per gli elementi platea è presente un ulteriore riga nella quale sono riportate le caratteristiche geometriche del plinto equivalente alla macro/platea in esame.

### **Dati di carico degli elementi constituenti le fondazioni superficiali**

*per tipologie travi e plinti superficiali:*

- Cmb numero della combinazione di carico
- Tipologia tipologia della combinazione di carico
- Sismica flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- Ecc. B eccentricità del carico normale agente sul piano di fondazione in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento
- Ecc. L eccentricità del carico normale agente sul piano di fondazione in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento
- S.Taglio B sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento
- S.Taglio L sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento
- S.Normale carico normale agente sul piano di fondazione
- T.T.min minimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale
- T.T.max massimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale

*per tipologia platea:*

- Cmb numero della combinazione di carico
- Tipologia tipologia della combinazione di carico
- Sismica flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- Press. N1 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 1 dell'elemento
- Press. N2 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 2 dell'elemento
- Press. N3 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 3 dell'elemento
- Press. N4 tensione di contatto tra terreno e fondazione nel vertice n° 4 dell'elemento

- S.Taglio X sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela all'asse X del riferimento globale
- S.Taglio Y sforzo di taglio agente sul piano di fondazione in direzione parallela all'asse Y del riferimento globale

Nel caso si avesse scelto di determinare la portanza anche per gli elementi platea è presente un ulteriore riga nella quale sono riportate le macroazioni (integrale delle azioni applicate sui singoli elementi che compongono la platea) agenti sul plinto equivalente alla macro/platea in esame.

#### **Valori di calcolo della portanza per fondazioni superficiali**

- Cmb numero della combinazione di carico
- Qlim capacità portante totale data dalla somma di Qlim q, Qlim g, Qlim c e di Qres P (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla portanza ammissibile)
- Qlim q termine relativo al sovraccarico della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qlim g termine relativo alla larghezza della base di fondazione della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qlim c termine relativo alla coesione della formula trinomia per il calcolo della capacità portante (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qres P termine relativo alla resistenza al punzonamento del terreno sovrastante lo strato di rottura. Diverso da zero solo nel caso di terreni stratificati dove lo strato di rottura è diverso dal primo (nel caso in cui si operi alle tensioni ammissibili corrisponde alla relativa parte della portanza ammissibile)
- Qmax / Qlim rapporto tra il massimo valore della distribuzione tensionale di contatto tra terreno ed elemento fondale ed il valore della capacità portante (verifica positiva se il rapporto è < 1.0).
- TBlim valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento
- TB / TBlim rapporto tra lo sforzo di taglio agente ed il valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela alla sezione trasversale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- TLlim valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento
- TL / TLlim rapporto tra lo sforzo di taglio agente ed il valore limite della resistenza a scorrimento in direzione parallela allo sviluppo longitudinale dell'elemento (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- Sgm. Lt. tensione litostatica agente alla quota del piano di posa dell'elemento fondale

Nel caso si avesse scelto di determinare la portanza anche per gli elementi platea è presente un ulteriore riga nella quale sono riportate le verifiche di portanza del plinto equivalente alla macro/platea in esame.

#### **Valori di calcolo dei cedimenti per fondazioni superficiali**

- Cmb numero della combinazione di carico e tipologia
- Nodo vertice dell'elemento in cui viene calcolato il cedimento
- Car. Netto valore del carico netto applicato sulla superficie del terreno
- Cedimento/i valore del cedimento (nel caso di calcolo di cedimenti elastici i valori riportati sono due, il primo corrisponde al cedimento  $w_{imp.}$ , mentre il secondo al cedimento  $w_{lib.}$ )

## **PARAMETRI DI CALCOLO**

#### **Metodi di calcolo della portanza per fondazioni superficiali:**

- Per terreni sciolti: Vesic
- Per terreni lapidei: Terzaghi

**Fattori utilizzati per il calcolo della portanza per fondazioni superficiali :**

- Riduzione dimensioni per eccentricità: si
- Fattori di forma della fondazione: si
- Fattori di profondità del piano di posa: si
- Fattori di inclinazione del carico: si
- Fattori di punzonamento (Vesic): si
- Fattore riduzione effetto piastra (Bowles): si
- Fattore di riduzione dimensione Base equivalente platea: 20,0 %
- Fattore di riduzione dimensione Lunghezza equivalente platea: 20,0 %

**Coefficienti parziali di sicurezza per Tensioni Ammissibili, SLE nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali:**

- Coeff. parziale di sicurezza  $F_c$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_q$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_g$  (statico): 2,50
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_c$  (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_q$  (sismico): 3,00
- Coeff. parziale di sicurezza  $F_g$  (sismico): 3,00

**Combinazioni di carico:****APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)**

Coefficienti parziali di sicurezza per SLU nel calcolo della portanza per fondazioni superficiali :

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $c'$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $C_u$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (sismico): 1
- Coeff. M1 per  $c'$  (sismico): 1
- Coeff. M1 per  $C_u$  sismico): 1
  
- Coeff. R3 capacità portante (statico e sismico): 2,30
- Coeff. R3 scorrimento (statico e sismico): 1,10

**Parametri per la verifica a scorrimento delle fondazioni superficiali:**

- Fattore per l'adesione ( $6 < C_a < 10$ ): 8
- Fattore per attrito terreno-fondazione ( $5 < \Delta < 10$ ): 7
- Frazione di spinta passiva  $f_{Sp}$ : 50,00 %
- Coeff. resistenza sulle sup. laterali: 1,30

**Metodi e parametri per il calcolo dei cedimenti delle fondazioni superficiali:**

- Metodo di calcolo tensioni superficiali: Boussinesq
- Modalità d'interferenza dei bulbi tensionali: sovrapposizione dei bulbi
- Metodo di calcolo dei cedimenti del terreno: cedimenti edometrici

**ARCHIVIO STRATIGRAFIE**

Indice / Descrizione: 001 / Nuova stratigrafia n. 2

Numero strati: 4

Profondità falda: assente

Strato n.	Quota di riferimento	Spessore	Indice / Descrizione terreno	Attrito Neg.
1	da 0,0 a -70,0 cm	70,0 cm	004 / MISTO_PIAZZ	Assente
2	da -70,0 a -220,0 cm	150,0 cm	001 / TERRA_CALCE	Assente
3	da -220,0 a -470,0 cm	250,0 cm	002 / LIMO_FERMO	Assente
4	da -470,0 a -3470,0 cm	3000,0 cm	003 / ARGILLA_FERMO	Assente

**ARCHIVIO TERRENI**

Indice / Descrizione terreno: 004 / MISTO\_PIAZZ

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec. P. Spec. Sat. Angolo Res. Cohesione Mod.Elast. Mod.Edom. Dens.Rel. Poisson C. Ades.

daN/cmc 1,400 E-3	daN/cmc 1,500 E-3	Gradi° 30,000	daN/cmq 0,000	daN/cmq 1530,000	daN/cmq 2060,000	% 87,0	% 0,300	0,00
----------------------	----------------------	------------------	------------------	---------------------	---------------------	-----------	------------	------

#### Indice / Descrizione terreno: 001 / TERRA\_CALCE

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cmc 1,937 E-3	daN/cmc 2,039 E-3	Gradi° 40,000	daN/cmq 1,000	daN/cmq 1275,000	daN/cmq 1716,000	% 85,0	% 0,300	0,70

#### Indice / Descrizione terreno: 002 / LIMO\_FERMO

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cmc 1,900 E-3	daN/cmc 2,000 E-3	Gradi° 23,000	daN/cmq 0,020	daN/cmq 53,000	daN/cmq 85,000	% 65,0	% 0,350	0,00

#### Indice / Descrizione terreno: 003 / ARGILLA\_FERMO

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cmc 2,000 E-3	daN/cmc 2,100 E-3	Gradi° 23,000	daN/cmq 0,300	daN/cmq 47,500	daN/cmq 180,000	% 65,0	% 0,450	0,30

### DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI SUPERFICIALI

Elemento	Tipologia	Id.Strat.	Prof. Fon.	Dia. Eq.	Spessore	Superficie	Vertici	Macro
n.			cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	n. per elem.	n.
Platea n.	1009	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1010	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1011	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1012	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1013	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1014	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1015	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1016	Platea	001	25.000	77.448	50.000	4710.938	4
Platea n.	1017	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1018	Platea	001	25.000	55.976	50.000	2460.938	4
Platea n.	1019	Platea	001	25.000	34.115	50.000	914.063	3
Platea n.	1020	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1021	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1022	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1023	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1024	Platea	001	25.000	60.585	50.000	2882.813	4
Platea n.	1025	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1026	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1027	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1028	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1029	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1030	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1031	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1032	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1033	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1034	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1035	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1036	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1037	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1038	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1039	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1040	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1041	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1042	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1043	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1044	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1045	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1046	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1047	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1048	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1049	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1050	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1051	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1052	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1053	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1054	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4
Platea n.	1055	Platea	001	25.000	69.529	50.000	3796.875	4











Platea n.	1416	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1417	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1418	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1419	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1420	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1421	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1422	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1423	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1424	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1425	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1426	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1427	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1428	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1429	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1430	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1431	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1432	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1433	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1434	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1435	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1436	Platea	001	25.000	59.841	50.000	2812.500	4	6
Platea n.	1437	Platea	001	25.000	56.419	50.000	2500.000	4	6
Platea n.	1438	Platea	001	25.000	56.419	50.000	2500.000	4	6
Platea n.	1439	Platea	001	25.000	56.419	50.000	2500.000	4	6
Platea n.	1440	Platea	001	25.000	56.419	50.000	2500.000	4	6
Platea n.	1441	Platea	001	25.000	34.115	50.000	914.063	3	6
Platea n.	1442	Platea	001	25.000	54.846	50.000	2362.500	3	6
Platea n.	1443	Platea	001	25.000	35.403	50.000	984.375	3	6
Platea n.	1444	Platea	001	25.000	34.115	50.000	914.063	3	6
Platea n.	1445	Platea	001	25.000	54.354	50.000	2320.313	3	6
Platea n.	1446	Platea	001	25.000	35.403	50.000	984.375	3	6

Elemento n.	Tipologia	Id.Strat.	Prof. Fon. cm	Base Eq. cm	Spessore cm	Lung. Eq. cm	Lung. Travata Eq. cm
Macro n. 6	Macro-Platea	001	25.000	800.000	50.000	1268.000	1268.000

## VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura. Le azioni trasmesse in fondazione, relative alle combinazioni di tipo sismico, non saranno amplificate in quanto determinate ipotizzando un comportamento non dissipativo.

La verifica nei confronti dello Stato Limite di Danno viene eseguita determinando il carico limite della fondazione per le corrispondenti azioni di SLD, impiegando i coefficienti parziali gammaR di cui alla tabella 7.11.II.

N.B. La relazione è redatta in forma sintetica. Verranno riportati solo i casi maggiormente gravosi per ogni tipo di combinazione e le relative verifiche.

### Macro platea: 6

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLU STR**:

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.0350 daN/cm<sup>2</sup>

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.1951 + 0.1601 + 1.5080 + 0.4817

Qmax / Qlim = 0.2364 / 2.3450 = 0,101 Ok (Cmb. n. 134)

TB / TBLim = 9123.8 / 69887.6 = 0,131 Ok (Cmb. n. 136)

TL / TLlim = 5693.4 / 69334.3 = 0,082 Ok (Cmb. n. 072)

Sollecitazioni:

Cmb n.	Tipo	Sism.	Ecc. B cm	Ecc. L cm	S. Taglio B daN	S. Taglio L daN	S. Normale daN	T.T. min daN/cm <sup>2</sup>	T.T. max daN/cm <sup>2</sup>
072	SLU STR	No	-7.845	49.951	-2440.2	5693.4	-197316.6	-0.0994	-0.1697
134	SLU STR	No	-18.568	48.026	-9300.7	4108.2	-257853.7	-0.1299	-0.2364
136	SLU STR	No	-21.919	47.768	-9123.8	3591.0	-198102.0	-0.1001	-0.1879

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLV A1 sism.:**

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.0350 daN/cm<sup>2</sup>

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.1483 + 0.1264 + 0.7542 + 0.4817

Qmax / Qlim = 0.3420 / 1.5106 = 0,226 Ok (Cmb. n. 239)

TB / TBLim = 35300.1 / 64665.8 = 0,546 Ok (Cmb. n. 241)

TL / TLlim = 25320.4 / 65670.9 = 0,386 Ok (Cmb. n. 218)

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	Ecc. B cm	Ecc. L cm	S. Taglio B daN	S. Taglio L daN	S. Normale daN	T.T. min daN/cm <sup>2</sup>	T.T. max daN/cm <sup>2</sup>
n.									
218	SLV A1	Si	30.628	161.012	10921.1	25320.4	-187134.4	-0.0420	-0.2439
239	SLV A1	Si	-120.072	87.365	-34447.8	8586.5	-186920.5	0.0151	-0.3420
241	SLV A1	Si	-125.082	20.233	-35300.1	-5453.2	-183638.5	0.0447	-0.3029

Risultati più gravosi per cmb. di tipo **SLD sism.:**

Sgm. Lt (tens. litostatica) = -0.0350 daN/cm<sup>2</sup>

Qlim = Qlim c + Qlim q + Qlim g + Qres P = 0.1623 + 0.1365 + 0.9382 + 0.4817

Qmax / Qlim = 0.2939 / 1.7188 = 0,171 Ok (Cmb. n. 271)

TB / TBlim = 26675.1 / 64590.2 = 0,413 Ok (Cmb. n. 273)

TL / TLlim = 18515.2 / 65233.6 = 0,284 Ok (Cmb. n. 250)

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	Ecc. B cm	Ecc. L cm	S. Taglio B daN	S. Taglio L daN	S. Normale daN	T.T. min daN/cm <sup>2</sup>	T.T. max daN/cm <sup>2</sup>
n.									
250	SLD	Si	21.309	130.259	8022.3	18515.2	-185881.3	-0.0550	-0.2151
271	SLD	Si	-92.732	77.367	-26033.6	6579.8	-185805.5	-0.0213	-0.2939
273	SLD	Si	-96.055	29.174	-26675.1	-3406.0	-183422.0	-0.0003	-0.2657

## VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

### Elemento: Platea n. 1009

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	Ecc. B cm	Ecc. L cm	S. Taglio B daN	S. Taglio L daN	S. Normale daN	T.T. min daN/cm <sup>2</sup>	T.T. max daN/cm <sup>2</sup>
n.									
195	SLE rare	No	-16.424	47.109	-3545.5	1228.1	-196866.4	-0.0912	-0.1684
210	SLE freq	No	-7.658	52.084	-1161.3	2735.2	-182195.0	-0.0891	-0.1526

Cedimento massimo = -0.067 cm in Cmb n. 195

Cedimento minimo = 0.000 cm in Cmb n. 210

# RELAZIONE GEOTECNICA E DELLE FONDAZIONI

## PREMESSA

Il tipo di fondazione è mista in quanto ai pali viene assegnato il compito di sostenere i carichi verticali e di contenere i cedimenti, in vece alla platea di fondazione viene assegnato il compito principale di verifica all'escursione trasversale longitudinale, come indicato nei §§6.4.3.3, 7.11.5.3.2, C7.11.5.3.2.

Il calcestruzzo dei pali è C25/30, la classe di esposizione è XC2. I pali hanno un diametro di 60cm ed una profondità di m 15,00.

Nel calcolo della portanza dei pali si è posto pari a zero il calore della portanza laterale dei limi ai fini di un vantaggio di sicurezza.

Il tabulato di seguito riportato dimostra come le scelte progettuali rendono la struttura idonea resistere alle azioni che la sollecitano durante la sua vita utile.

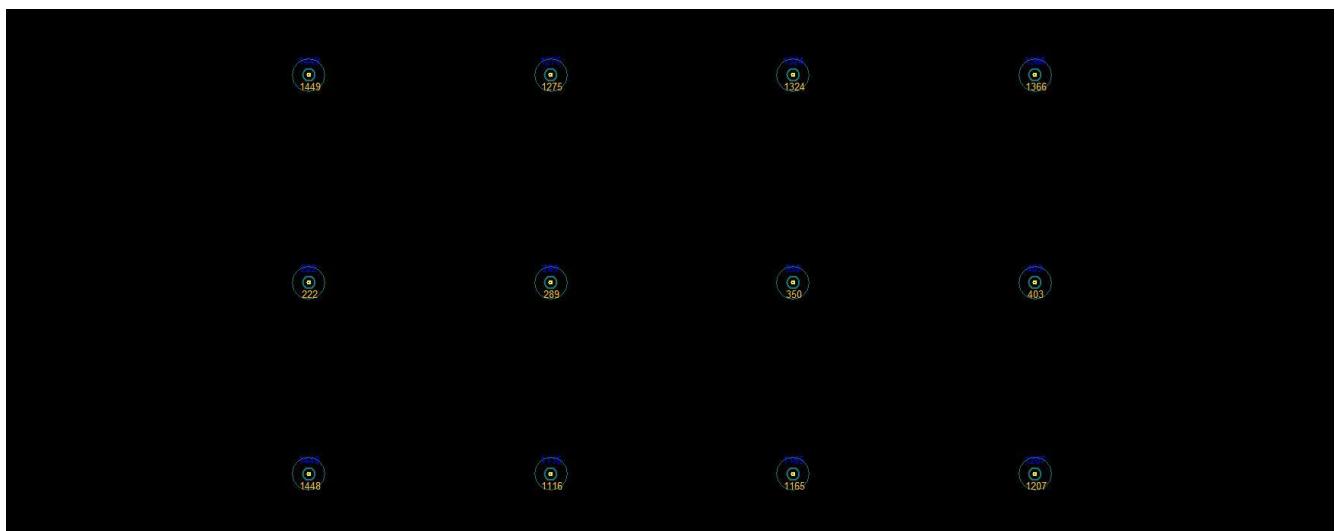
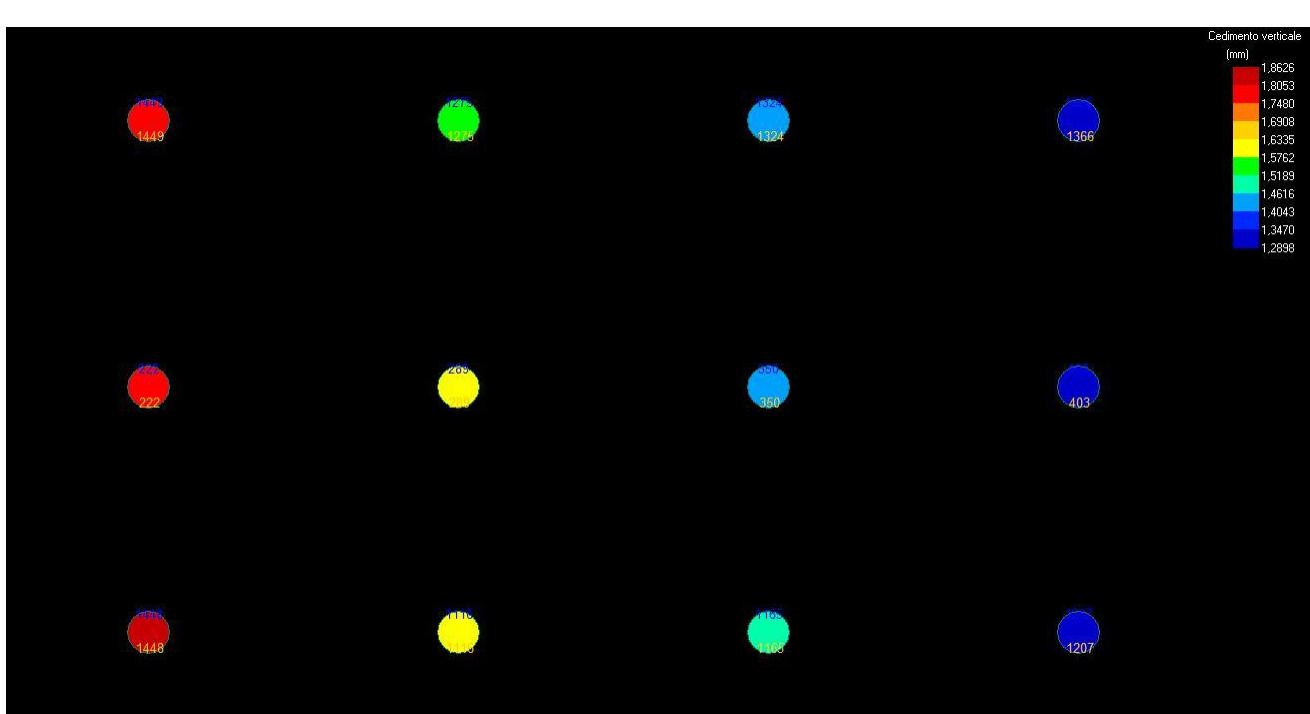
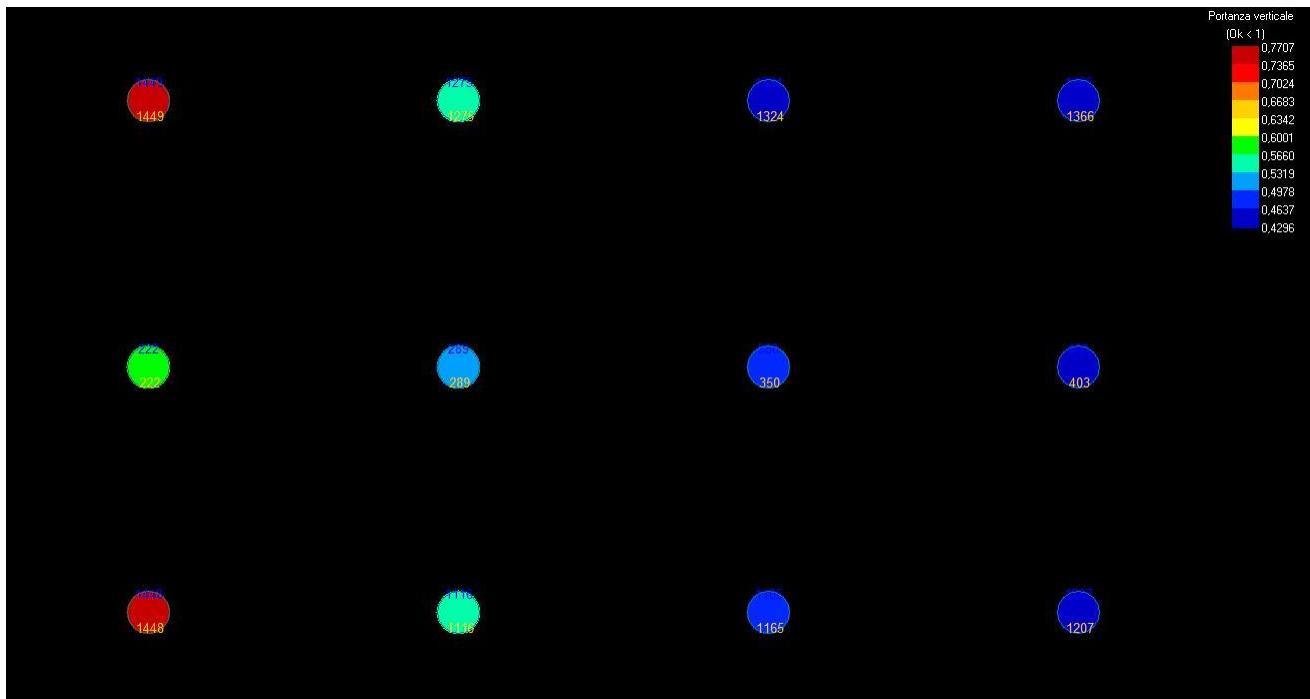


Figura 1 - Pianta pali



## NORMATIVE DI RIFERIMENTO

In quanto di seguito riportato viene fatto esplicito riferimento alle seguenti Normative:

- **LEGGE n° 64 del 02/02/1974.** "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.";
- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988.** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.";
- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996.** "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.";
- **Circolare Ministeriale LL.PP. n° 65/AA.GG. del 10/04/1997.** "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/1996.";
- **Eurocodice 1 - Parte 1** - "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Basi di calcolo -";
- **Eurocodice 7 - Parte 1** - "Progettazione geotecnica - Regole generali -";
- **Eurocodice 8 - Parte 5** - "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici -";
- **D.M. 17/01/2018 - NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI**
- **Circolare n. 7 del 21/01/2019**

## INDAGINI IN SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

La finalità della presente relazione è quella di definire il comportamento meccanico del volume di terreno (volume significativo) influenzato direttamente o indirettamente dalla costruzione di un manufatto e che a sua volta influenza il comportamento strutturale del manufatto stesso. Di seguito si illustrano i risultati delle indagini geologiche eseguite, nonché l'interpretazione dei risultati ottenuti. Dal quadro generale in tal modo scaturito si definiscono le caratteristiche della fondazione da adottare ed il modello da utilizzare per le elaborazioni relative alla interazione sovrastruttura-fondazione e fondazione-terreno.

Le risultanze dell'indagine in situ hanno evidenziato che:

il substrato di argilla stratificata a sabbia ha delle caratteristiche accettabili, ma è coperta da uno strato di coltre limosa dalle scarse caratteristiche geotecniche

Di seguito si riportano alcuni cenni teorici relativi alle modalità di calcolo implementate e la descrizione della simbologia adottata nei tabulati.

## DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA VERTICALE DI FONDAZIONI PROFONDE

Per la determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde si fa riferimento a due contributi: la "portanza di punta" e la "portanza per attrito laterale". Queste due componenti in genere sono calcolate in maniera autonoma dato che risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico è assorbita dall'attrito laterale e quanta dalla resistenza alla punta. Nel seguito, ai fini del calcolo della portanza verticale, si assumeranno le seguenti espressioni generali valide per il caso di palo soggetto a compressione e per il caso di palo soggetto a trazione (nel calcolo della portanza verticale è possibile tenere in conto tutti o solo uno dei contributi su definiti):

$$Q_C = \frac{Q_P}{\eta_P} + \frac{Q_L}{\eta_L} - W_{ATT.NEG.} - W_P \quad (\text{caso di palo in compressione}) \qquad Q_T \\ = \frac{Q_L}{\eta_L} + W_P \quad (\text{caso di palo in trazione})$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $Q_C$  resistenza a compressione del palo
- $Q_T$  resistenza a trazione del palo
- $Q_P$  carico limite verticale alla punta del palo
- $Q_L$  carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo
- $W_{ATT.NEG.}$  attrito negativo agente sul palo
- $W_P$  peso totale del palo

- $\eta_P$  coefficiente di sicurezza per carico limite verticale alla punta del palo
- $\eta_L$  coefficiente di sicurezza per carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo

I valori del carico limite verticale alla punta del palo " $Q_P$ " e del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo " $Q_L$ " sono determinati con le note "formule statiche". Queste esprimono i valori di cui sopra in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche geotecniche del terreno in cui è immerso, della modalità esecutiva e dell'interfaccia palo-terreno.

Di seguito si illustrano le metodologie con le quali saranno determinati i valori prima citati; è necessario tenere presente che tali metodi sono riferiti al calcolo del "singolo palo" e per estendere tale modalità computazione al caso di "pali in gruppo" si farà ricorso ai "coefficienti d'efficienza", in questo modo si potrà tenere in debito conto l'interferenza reciproca che i pali esercitano.

## CARICO LIMITE VERTICALE ALLA PUNTA DEL PALO

Il valore del carico limite verticale alla punta del palo, indipendentemente dal metodo utilizzato per la sua determinazione, è condizionato dalla modalità esecutiva. Esso varia notevolmente a seconda che il palo sia del tipo "infisso" o "trivellato" poiché le caratteristiche fisico-mecaniche del terreno circostante il palo variano in seguito alle operazioni d'installazione. Di conseguenza, per tenere conto della modalità esecutiva nel calcolo dei coefficienti di portanza, si propone di modificare il valore dell'angolo di resistenza a taglio secondo quanto suggerito da Kishida (1967):

$$\phi_{cor} = \frac{\phi + 40}{2} \quad (\text{per pali infissi}) \quad \phi_{cor} = \phi - 3^\circ \quad (\text{per pali trivellati})$$

Con la correzione di cui sopra si determineranno i fattori adimensionali di portanza che sono presenti nella relazione per la determinazione del carico limite verticale alla punta che assume la seguente espressione:

$$Q_P = A_P \cdot (q_P \cdot N_q^* + c \cdot N_c^*)$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $A_P$  superficie portante efficace della punta del palo
- $q_P$  pressione del terreno presente alla punta del palo
- $c$  coesione del terreno alla punta del palo (nel caso di condizione non drenata  $c = c_u$ )
- $N_q^*, N_c^*$  fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno  $\phi_{cor}$  del terreno già corretti

In letteratura esistono diverse formulazioni per il calcolo dei fattori adimensionali di portanza, di seguito si riportano quelle che sono state implementate:

### **Formulazione di Meyerhof per base poggiante su terreni sciolti (1951)**

- se  $\varphi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$\begin{aligned} N_q &= \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\phi)} & N_c &= (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi) \\ s_q &= 1 + 0.1 \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) & s_c &= 1 + 0.2 \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) & \text{(fattori di forma)} \\ d_q &= 1 + 0.1 \cdot \frac{L}{D} \cdot \sqrt{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} & d_c &= 1 + 0.2 \cdot \frac{L}{D} \cdot \sqrt{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} & \text{(fattori d'approfondimento)} \\ N_q^* &= N_q \cdot s_q \cdot d_q & N_c^* &= N_c \cdot s_c \cdot d_c \end{aligned}$$

se  $\varphi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$\begin{aligned} N_q &= 1.00 & N_c &= \pi + 2 \\ s_q &= 1.00 & s_c &= 1.20 & \text{(fattori di forma)} \\ d_q &= 1.00 & d_c &= 1 + 0.2 \cdot \frac{L}{D} & \text{(fattori d'approfondimento)} \\ N_q^* &= N_q \cdot s_q \cdot d_q & N_c^* &= N_c \cdot s_c \cdot d_c \end{aligned}$$

### **Formulazione di Hansen per base poggiante su terreni sciolti (1970)**

se  $\varphi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q = \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\phi)}$$

$$s_q = 1 + \operatorname{tg}(\phi)$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(\phi) \cdot (1 - \operatorname{sen}(\phi))^2 \cdot \theta \quad d_c = 1 + 0.4 \cdot \theta$$

dove: se  $\frac{L}{D} \leq 1 \Rightarrow \theta = \frac{L}{D}$ , se  $\frac{L}{D} > 1 \Rightarrow \theta = \operatorname{arctg} \left( \frac{L}{D} \right)$

$$N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi)$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c}$$

(fattori di forma)

(fattori d'approfondimento)

$$N_c^* = N_c \cdot s_c \cdot d_c$$

se  $\phi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q = 1.00$$

$$N_c = \pi + 2$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_c = 1.20$$

(fattori di forma)

$$d_q = 1.00$$

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \theta$$

(fattori d'approfondimento)

$$N_q^* = N_q \cdot s_q \cdot d_q$$

$$N_c^* = N_c \cdot s_c \cdot d_c$$

### Formulazione di Zeervaert per base poggiante su terreni sciolti (1972)

se  $\phi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \frac{\cos^2(\phi)}{2 \cdot \cos^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)} \cdot e^{\left( \frac{3-\pi}{2} + \phi \right) \cdot \operatorname{tg}(\phi)}$$

$$N_c^* = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi)$$

se  $\phi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = 9.00$$

### Formulazione di Berezantzev per base poggiante su terreni sciolti (1970)

Berezantzev fa riferimento ad una superficie di scorrimento "alla Terzaghi" che si arresta sul piano della punta del palo. Inoltre considera il cilindro di terreno coassiale al palo (avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento) in parte sostenuto da tensioni tangenziali dal rimanente terreno presente lungo la superficie laterale del cilindro. Conseguentemente il valore della pressione presente alla punta del palo è inferiore alla corrispondente pressione litostatica ed è influenzata dal rapporto tra la profondità alla quale è posta la punta "L" del palo e il diametro "D" dello stesso. Quindi il valore di  $N_q^*$  è influenzato da questo effetto "Silo". I valori che l'autore propone sono:

se  $\phi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

Valori di  $N_q^*$  per pali di diametro fino a 80.0 cm.

$\Delta/\Delta$	8°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
4	1.07	2.18	3.15	4.72	7.15	10.73	15.85	22.95	32.62	45.56	62.69	85.18	114.53	152.71	202.32	266.82	350.86	460.79	605.30
12	1.04	1.77	2.46	3.64	5.52	8.42	12.71	18.85	27.44	39.21	55.07	76.20	104.13	140.81	188.86	251.72	334.05	442.17	584.82
20	1.03	1.63	2.20	3.20	4.82	7.38	11.22	16.82	24.76	35.79	50.83	71.06	98.01	133.65	180.59	242.29	323.39	430.21	571.48
28	1.03	1.54	2.05	2.93	4.40	6.72	10.26	15.48	22.96	33.43	47.84	67.37	93.54	128.35	174.39	235.13	315.21	420.95	561.08
36	1.02	1.49	1.94	2.75	4.10	6.26	9.57	14.49	21.60	31.64	45.53	64.48	90.00	124.10	169.36	229.27	308.46	413.26	552.38
50	1.02	1.42	1.82	2.53	3.74	5.68	8.70	13.23	19.84	29.27	42.45	60.56	85.14	118.18	162.30	220.95	298.80	402.16	539.74
75	1.02	1.35	1.69	2.30	3.33	5.02	7.69	11.74	17.73	26.37	38.58	55.55	78.82	110.38	152.84	209.67	285.53	386.74	522.01
100	1.01	1.31	1.61	2.14	3.07	4.60	7.02	10.74	16.28	24.34	35.84	51.95	74.19	104.56	145.68	201.02	275.23	374.64	507.95
200	1.01	1.22	1.44	1.84	2.54	3.71	5.60	8.56	13.05	19.73	29.43	43.30	62.82	89.95	127.29	178.30	247.63	341.59	468.90
500	1.01	1.14	1.29	1.55	2.02	2.82	4.14	6.24	9.50	14.45	21.83	32.64	48.25	70.49	101.85	145.69	206.57	290.75	406.87

Valori di  $N_q^*$  per pali di diametro maggiore a 80.0 cm.

$\Delta/\Delta$	8°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°
4	1.16	3.09	3.95	5.04	6.44	8.22	10.50	13.41	17.12	21.87	27.92	35.65	45.53	58.14	74.24	94.80	121.05	154.57	197.38
12	1.21	3.14	3.98	5.05	6.42	8.14	10.34	13.13	16.68	21.18	26.90	34.17	43.41	55.15	70.07	89.03	113.13	143.77	182.72
20	1.26	3.18	4.01	5.06	6.39	8.06	10.18	12.85	16.23	20.49	25.88	32.69	41.29	52.16	65.89	83.26	105.21	132.97	168.06
28	1.30	3.22	4.04	5.07	6.36	7.99	10.02	12.57	15.78	19.81	24.86	31.20	39.17	49.16	61.72	77.49	97.29	122.16	153.40
36	1.35	3.27	4.07	5.08	6.34	7.91	9.86	12.30	15.33	19.12	23.84	29.72	37.04	46.17	57.55	71.72	89.38	111.36	138.75
44	1.39	3.31	4.10	5.09	6.31	7.83	9.70	12.02	14.88	18.43	22.81	28.23	34.92	43.18	53.38	65.95	81.46	100.56	124.09
52	1.44	3.35	4.14	5.10	6.29	7.75	9.54	11.74	14.44	17.74	21.79	26.75	32.80	40.19	49.21	60.18	73.54	89.76	109.43
56	1.46	3.37	4.15	5.10	6.27	7.71	9.46	11.60	14.21	17.40	21.28	26.00	31.74	38.70	47.12	57.30	69.58	84.36	102.10
60	1.49	3.39	4.17	5.11	6.26	7.67	9.38	11.46	13.99	17.06	20.77	25.26	30.68	37.20	45.03	54.42	65.62	78.96	94.77
65	1.51	3.42	4.19	5.12	6.25	7.62	9.28	11.29	13.71	16.63	20.13	24.33	29.35	35.33	42.43	50.81	60.67	72.21	85.61

$$N_c^* = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi)$$

se  $\varphi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = 9.00$$

### Formulazione di Vesic per base poggiante su terreni sciolti (1975)

se  $\varphi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = \frac{3}{3 - \operatorname{sen}(\phi)} \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \cdot I_{rr}^{\frac{4 \cdot \operatorname{sen}(\phi)}{3 \cdot (1 + \operatorname{sen}(\phi))}} \cdot e^{\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \cdot \operatorname{tg}(\phi)}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + \varepsilon_v \cdot I_r}$$

$$\varepsilon_v = \frac{q_p \cdot \alpha}{E_t} \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2 \cdot \nu)}{(1-\nu)}$$

$$N_c^* = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi)$$

$$I_r = \frac{E_t}{2 \cdot (1+\nu) \cdot (c + q_p \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}(\phi))}$$

se  $\varphi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = \frac{4}{3} \cdot (\log_n(I_{rr}) + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $E_t$  modulo elastico del terreno alla profondità della punta del palo
- $\nu$  coefficiente di Poisson del terreno alla profondità della punta del palo
- $\alpha$  coefficiente di riduzione della pressione del terreno presente alla profondità della punta del palo

Nel caso in cui si scelga di effettuare la riduzione della pressione del terreno presente alla profondità della punta del palo (cioè  $\alpha \neq 1$ ) il coefficiente di riduzione " $\alpha$ " assume la seguente espressione:

$$\alpha = \frac{1 + 2 \cdot K_0}{3} \quad \text{dove: se } \phi \neq 0 \Rightarrow K_0 = 1 - \operatorname{sen}(\phi); \quad \text{se } \phi = 0 \Rightarrow K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

### Formulazione di Janbu per base poggiante su terreni sciolti (1976)

se  $\varphi \neq 0$  (condizione drenata) si ha:

$$N_q^* = (\operatorname{tg}(\phi) + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\phi)})^2 \cdot e^{2 \cdot \vartheta \cdot \operatorname{tg}(\phi)}$$

$$\vartheta = 60 + 0.45 \cdot Dr$$

$$N_c^* = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi)$$

dove "Dr" è la densità relativa del terreno.

se  $\varphi = 0$  (condizione non drenata) si ha:

$$N_q^* = 1.00$$

$$N_c^* = 5.74$$

### Formulazione di Terzaghi per base poggiante su roccia (1943)

Per la determinazione del carico limite nel caso di presenza di ammasso roccioso bisogna valutare molto attentamente il grado di solidità della roccia stessa. Tale valutazione viene in genere eseguita stimando l'indice RQD (Rock Quality Designation) che rappresenta una misura della qualità di un ammasso roccioso. Tale indice può variare da un minimo di 0 (caso in cui la lunghezza dei pezzi di roccia estratti dal carotiere è inferiore a 100 mm) ad un massimo di 1 (caso in cui la carota risulta integra) ed è calcolato nel seguente modo:

$$RQD = \frac{\sum \text{lunghezze dei pezzi di roccia intatta} > 100\text{mm}}{\text{lunghezza del carotiere}}$$

Se il valore di RQD è molto basso la roccia è molto fratturata ed il calcolo della capacità portante dell'ammasso roccioso va condotto alla stregua di un terreno sciolto utilizzando tutte le formulazioni sopra descritte.

$$N_q = \frac{e^{2 \cdot \left(\frac{3 \cdot \pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}(\phi)}}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$s_q = 1.00$$

$$N_q^* = RQD^2 \cdot N_q \cdot s_q$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg}(\phi)$$

$$\text{se } \phi = 0 \Rightarrow N_c = \frac{3}{2} \cdot \pi + 1$$

$$s_c = 1.30$$

(fattori di forma)

$$N_c^* = RQD^2 \cdot N_c \cdot s_c$$

### Formulazione di Stagg-Zienkiewicz per base poggiante su roccia (1968)

$$N_q = \operatorname{tg}^6\left(\frac{90^\circ + \phi}{2}\right)$$

$$s_q = 1.00$$

$$N_q^* = RQD^2 \cdot N_q \cdot s_q$$

$$N_c = 5 \cdot \operatorname{tg}^4\left(\frac{90^\circ + \phi}{2}\right)$$

$$s_c = 1.30$$

(fattori di forma)

$$N_c^* = RQD^2 \cdot N_c \cdot s_c$$

## CARICO LIMITE VERTICALE LUNGO LA SUPERFICIE LATERALE DEL PALO

Il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo è dato dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali che si sviluppano all'interfaccia palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int_{\Gamma} \tau_{\text{lim}} \cdot d\Gamma = \int_0^L (c_a + \sigma_h \cdot \tan(\delta)) \cdot P_{\text{lat}} \cdot dz$$

dove i simboli sopra riportati hanno il seguente significato:

- $\chi_a$  adesione all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- $\sigma_h$  tensione orizzontale alla generica profondità "z"
- $\delta$  angolo di resistenza a taglio all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- $P_{\text{lat}}$  perimetro della sezione trasversale del palo alla generica profondità "z"
- $A$  sviluppo longitudinale del palo

Analogamente al carico limite alla punta, anche il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo varia notevolmente a seconda che esso sia del tipo "infisso" o "trivellato" a causa del diverso comportamento del terreno circostante in palo. Conseguentemente i parametri sopra riportati possono essere correlati da leggi diverse in funzione delle modalità di esecuzione del palo. Di seguito si descrivono quelle che sono state implementate.

L'adesione " $c_a$ " è correlata alla coesione "c" nel caso di condizioni drenate; oppure alla coesione non drenata " $c_u$ " nel caso di condizioni non drenate, per mezzo del coefficiente d'adesione " $\psi$ " secondo la seguente relazione:

$$c_a = c_* \cdot \psi \quad \text{dove : } c_* = c \text{ (in condizione drenata);}$$

$$c_* = c_u \text{ (in condizione non drenata).}$$

Esprimendo il valore di "c" in N/cm<sup>2</sup>, il coefficiente d'adesione " $\psi$ " può assumere i seguenti valori:

### **Caquot-Kerisel (consigliato per pali trivellati)**

$$\psi = \frac{100 + c_*^2}{100 + 7 \cdot c_*^2}$$

### **Meyerhof-Murdock (consigliato per pali trivellati)**

$$\begin{aligned} \text{se } c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 1.000 - 0.100 \cdot c_* \\ \text{se } c_* > 5.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.525 - 0.005 \cdot c_* \end{aligned}$$

### **Whitaker-Cooke (consigliato per pali trivellati)**

$$\begin{aligned} \text{se } c_* \leq 2.50 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.90 \\ \text{se } 2.50 < c_* \leq 5.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.80 \\ \text{se } 5.00 < c_* \leq 7.50 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.60 \\ \text{se } c_* > 7.50 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.40 \end{aligned}$$

### **Woodward (consigliato per pali trivellati)**

$$\begin{aligned} \text{se } c_* \leq 4.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.90 \\ \text{se } 4.00 < c_* \leq 8.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.60 \\ \text{se } 8.00 < c_* \leq 12.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.50 \\ \text{se } 12.00 < c_* \leq 20.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.40 \\ \text{se } c_* > 20.00 \text{ N/cm}^2 &\Rightarrow \psi = 0.30 \end{aligned}$$

### **Viggiani e altri (consigliato per pali infissi)**

se $c_s \leq 5.00 \text{ N/cm}^2$	$\Rightarrow \psi = 1.00$
se $5.00 < c_s \leq 10.00 \text{ N/cm}^2$	$\Rightarrow \psi = 0.70$
se $10.00 < c_s \leq 15.00 \text{ N/cm}^2$	$\Rightarrow \psi = 0.50$
se $15.00 < c_s \leq 20.00 \text{ N/cm}^2$	$\Rightarrow \psi = 0.40$
se $c_s > 20.00 \text{ N/cm}^2$	$\Rightarrow \psi = 0.30$

Il valore della tensione orizzontale " $\sigma_h$ " è correlato al valore della pressione verticale " $\sigma_v$ " per mezzo del coefficiente di spinta orizzontale " $K_s$ " secondo la seguente relazione:

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot K_s$$

Il valore di " $K_s$ " dipende essenzialmente dal tipo di terreno e dal suo stato d'addensamento nonché dalla tecnologia utilizzata per l'installazione.

Il programma permette di scegliere tra differenti teorie per il calcolo di  $K_s$ .

Opzione 1:

Metodo "Tomlinson (1971)"

$K_s$  può variare da un limite inferiore pari al coefficiente di spinta a riposo " $K_0$ " fino a valori prossimi al coefficiente di spinta passiva " $K_p$ "; i valori proposti sono:

pali trivellati:  $K_s = K_0 = 1 - \sin(\phi)$

pali infissi:  $K_s = \text{variabile da: } K_p = 1 + \tan^2(\phi) \text{ in sommità fino a } K_0 = 1 - \sin(\phi) \text{ alla punta}$

Opzione 2:

Metodo di "Kulhavy (1983)"

pali trivellati:  $K_s = \alpha K_0$  con  $\alpha$  variabile tra 2/3 e 1

pali infissi:  $K_s = \alpha K_0$  con  $\alpha$  variabile da 3/4, per compattazione del terreno trascurabile, fino a 2, nel caso di compattazione significativa.

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio all'interfaccia terreno-palo " $\delta$ " è funzione della scabrezza della superficie del palo e quindi della modalità esecutiva; i valori proposti sono:

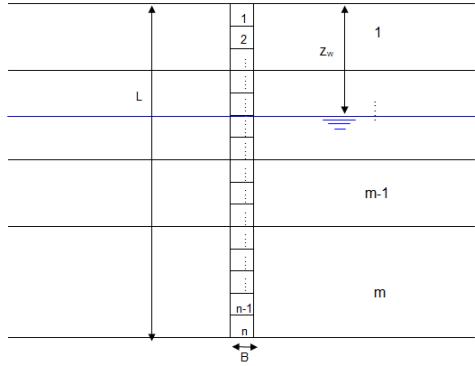
$$\delta = \arctg(\tan(\phi)) \quad (\text{per pali trivellati}) \quad \delta = \arctg\left(\frac{3}{4} \cdot \tan(\phi)\right) \quad (\text{per pali infissi})$$

## DETERMINAZIONE DEI CEDIMENTI DI FONDAZIONI PROFONDE

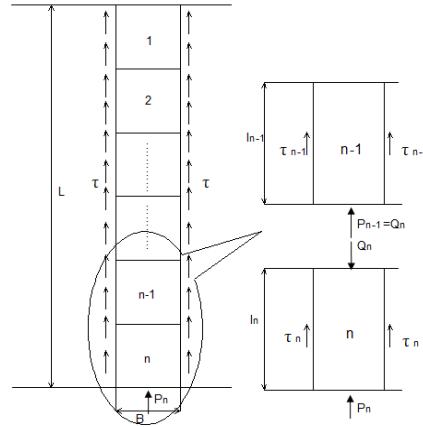
Per la determinazione del comportamento del palo singolo sottoposto a carichi applicati alla sommità, si fa riferimento all'approccio semiempirico delle curve di trasferimento (Coyle e Reese (1966)). Il metodo delle curve di trasferimento è basato su dati provenienti da prove di carico su pali strumentati; elaborando tali dati è possibile costruire le curve di trasferimento che legano la tensione tangenziale mobilitata all'interfaccia palo-terreno lungo un concio del palo con lo spostamento relativo.

La curva di trasferimento si ottiene con una procedura che prevede i seguenti passi:

1. Suddivisione del palo in n conci



2. Definizione della resistenza limite del palo sulla base delle caratteristiche geometriche e delle caratteristiche del terreno. In presenza di terreno stratificato la resistenza sarà uguale alla sommatoria delle resistenze limite di ogni strato di terreno attraversato dal palo.
3. Si assegna all'estremità inferiore del palo (concio n) un cedimento  $W_p$ .
4. Si considera la curva di trasferimento appropriata (carico alla punta-cedimento) in base alla tecnologia costruttiva e al tipo di terreno presente e, noto il cedimento  $W_p$ , si ricava il carico alla punta  $P_n$ .



5. Si ipotizza che il cedimento alla base del concio  $W_p$  sia uguale al cedimento  $W_n$  che si verifica a metà del concio ( $W_p=W_n$ ).
6. Con il valore di  $W_n$  si entra nell'appropriata curva di trasferimento (carico laterale-cedimento) e, nota la resistenza tangenziale limite, si ricava la tensione tangenziale mobilitata.
7. Il carico  $Q_n$  agente sulla sommità del concio n-esimo è dato da:

$$Q_n = P_n + \tau_n \pi B l$$

Dove:

$$l = \frac{L}{n}$$

8. Si calcola l'abbassamento elastico in corrispondenza della metà del concio n

$$V_n = \frac{Q_n + P_n}{2} \frac{2l}{\pi B^2 E_p}$$

9. Si somma il valore calcolato di  $V_n$  con il valore di cedimento  $W_p$  ipotizzato inizialmente:

$$W_n' = V_n + W_p$$

10. Se il valore  $W_n'$  differisce in maniera significativa dal valore di  $W_n$  si riparte da passo 3 entrando nella curva di trasferimento con il valore di  $W_n'$ .
11. Quando si ottiene la giusta convergenza si passa a considerare il concio (n-1) e così via fino ad arrivare alla testa del palo.

Il risultato di questa procedura è una curva carico-cedimento con la quale è possibile ricavare i cedimenti sulla base del carico applicato.

## SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO

Per maggior chiarezza nella lettura dei tabulati di calcolo viene riportata la descrizione dei simboli principali utilizzati nella stesura degli stessi. Per comodità di lettura la legenda è suddivisa in paragrafi con la stessa modalità in cui sono stampati i tabulati di calcolo.

### **Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni profonde**

- X elem.	ascissa nel riferimento globale dell'elemento
- Y elem.	ordinata nel riferimento globale dell'elemento
- Profon.	profondità del piano di posa dell'elemento a partire dal piano campagna
- Base	larghezza della sezione trasversale dell'elemento
- Lungh.	dimensione dello sviluppo longitudinale dell'elemento
- Altez.	altezza della sezione trasversale dell'elemento
- Rotaz.	rotazione dell'elemento rispetto al suo baricentro
- Grup. ap.	nel caso cui l'elemento faccia parte di una palificata, rappresenta il numero identificativo della stessa
- Ind. Strat.	indice della stratigrafia associata all'elemento
- Tip. iniez.	tipologia d'iniezione dei micropali ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (No iniez. = assenza d'iniezione, Iniez.uni. = iniezione unica, Iniez.rip. = iniezione ripetuta)
- Tip. ter.	tipologia di terreno ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (Coes. = coesivo, Inc. = incoerente)
- Dia. P.	diametro fusto del palo
- Lun. P.	lunghezza totale del palo

- Lun. L.	lunghezza tratto del palo senza contributo di terreno
- Dis. P.	distanza del baricentro del palo dal bordo del plinto
- In. Px	interasse principale del palo
- In. Py	interasse secondario del palo
- Dia. B.	diametro bulbo del palo
- Lun. B.	lunghezza della sbulbatura del palo
- E.C.V.	coefficiente d'efficienza per carico limite verticale del singolo palo
- E.C.C.	coefficiente d'efficienza per carico critico verticale del singolo palo
- E.C.T.	coefficiente d'efficienza per carico limite trasversale del singolo palo
- Svin. testa	codice di svincolo alla rotazione in testa al palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
- Vin. piede	codici di vincolo rispettivamente alla rotazione orizzontale, traslazione orizzontale e traslazione verticale applicabili al piede del palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
- Asc. X'	ascissa del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel baricentro del plinto
- Asc. Y'	ordinata del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel baricentro del plinto
- Peso spec.	peso specifico del palo
- Mod. El. Pa.	modulo elastico normale del palo

#### **Dati di carico degli elementi costituenti le fondazioni profonde**

- Cmb	numero della combinazione di carico
- Tipologia	tipologia della combinazione di carico
- Sismica	flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- S. Normale	sollecitazione normale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante X'	sollecitazione tagliante lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante Y'	sollecitazione tagliante lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Flessionale X'	sollecitazione flessionale lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Flessionale Y'	sollecitazione flessionale lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Torsionale	sollecitazione torsionale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)

#### **Valori di calcolo per le fondazioni profonde**

- Port. punta	carico limite verticale alla punta del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. lat.	carico limite verticale lungo la superficie laterale del fusto del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. bulbo	carico limite verticale lungo la superficie laterale del bulbo del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- C. Critico	carico critico per l'instabilità del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Attr. Neg.	attrito negativo agente sul palo (valore su singolo palo)
- Peso Palo	peso totale del singolo palo
- Cmb	numero e tipologia della combinazione di carico
- S. Norm.	sollecitazione normale agente alla testa del palo in esame
- V. V. Com.	resistenza a compressione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- V. V. Tra.	resistenza a trazione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Com.	rapporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a compressione (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)

- Ver. Tra.	rappporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a trazione (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- S. Tagl.	sollecitazione tagliante agente alla testa del palo
- S. Fles.	sollecitazione flessionale agente alla testa del palo
- V. V. Trs.	resistenza trasversale del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Tra.	rappporto tra la sollecitazione tagliante agente alla testa del palo e la sua resistenza trasversale (verifica positiva se il rapporto è < 1.0)
- Ced. V.	cedimento verticale in corrispondenza della testa del palo
- Ced. H.	cedimento orizzontale in corrispondenza della testa del palo

## PARAMETRI DI CALCOLO

### Modalità di calcolo della portanza verticale per fondazioni profonde:

Per elementi con pali: Portanza di punta e laterale

Per elementi con micropali: Portanza di punta e laterale

### Metodi di calcolo della portanza di punta per fondazioni profonde:

Per terreni sciolti: Vesic

Riduzione della tensione litostatica: No

Per terreni lapidei: Terzaghi

Riduzione di Kishida per pali battuti o trivellati: Si

Metodo di calcolo del coefficiente di spinta orizzontale  $K_s$ : Tomlinson

### Coefficienti parziali e totali di sicurezza per Tensioni Ammissibili e S.L.E. nel calcolo della portanza per fondazioni profonde:

Coeff. di sicurezza alla punta: 2,50

Coeff. di sicurezza lungo il fusto: 2,50

Coeff. di sicurezza lungo il bulbo: 2,50

Coeff. di sicurezza per palo in trazione: 2,50

### Combinazioni di carico:

#### APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)

Coefficienti parziali e totali di sicurezza per S.L.U. nel calcolo della portanza per pali trivellati:

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (statico): 1
- Coeff. M1 per  $c'$  (statico): 1,00
- Coeff. M1 per  $C_u$  (statico): 1,00
- Coeff. M1 per  $\tan \phi$  (sismico): 1,00
- Coeff. M1 per  $c'$  (sismico): 1,00
- Coeff. M1 per  $C_u$  sismico: 1,00
- Coeff. R3 base: 1,35
- Coeff. R3 laterale in compressione: 1,15
- Coeff. R3 laterale in trazione: 1,25
- Coeff. R3 trasversale: 1,30

Fattore di correlazione Verticale: 1,70

Fattore di correlazione Trasversale: 1,70

## ARCHIVIO STRATIGRAFIE

Indice / Descrizione: 001 / Nuova stratigrafia n. 2

Numeri strati: 4

Profondità falda: assente

Strato n.	Quota di riferimento	Spessore	Indice / Descrizione terreno	Attrito Neg.
1	da 0,0 a -70,0 cm	70,0 cm	004 / MISTO_PIAZZ	Assente

2	da -70,0 a -220,0 cm	150,0 cm	001 / TERRA_CALCE	Assente
3	da -220,0 a -470,0 cm	250,0 cm	002 / LIMO_FERMO	Assente
4	da -470,0 a -3470,0 cm	3000,0 cm	003 / ARGILLA_FERMO	Assente

## ARCHIVIO TERRENI

### Indice / Descrizione terreno: 004 / MISTO\_PIAZZ

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec.	Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm² 1,400 E-3	daN/cm² 1,500 E-3	Gradi° 30,000		daN/cm² 0,000	daN/cm² 1530,000	daN/cm² 2060,000	% 87,0	% 0,300	0,00

### Indice / Descrizione terreno: 001 / TERRA\_CALCE

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec.	Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm² 1,937 E-3	daN/cm² 2,039 E-3	Gradi° 40,000		daN/cm² 1,000	daN/cm² 1275,000	daN/cm² 1716,000	% 85,0	% 0,300	0,70

### Indice / Descrizione terreno: 002 / LIMO\_FERMO

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec.	Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm² 1,900 E-3	daN/cm² 2,000 E-3	Gradi° 23,000		daN/cm² 0,020	daN/cm² 53,000	daN/cm² 85,000	% 65,0	% 0,350	0,00

### Indice / Descrizione terreno: 003 / ARGILLA\_FERMO

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec.	Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cm² 2,000 E-3	daN/cm² 2,100 E-3	Gradi° 23,000		daN/cm² 0,300	daN/cm² 47,500	daN/cm² 180,000	% 65,0	% 0,450	0,30

## DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI PROFONDE

### Elemento: 222 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.	
cm 300,0	cm 650,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	Gradi° 0,00	n. 222	n. 001	
<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b> 1,00	<b>E.C.C.</b> 1,00
<b>Palo</b> n. 1	<b>Asc. X'</b> cm 0,0	<b>Ord. Y'</b> cm 0,0						<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0

### Elemento: 289 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.	
cm 743,0	cm 650,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	Gradi° 0,00	n. 289	n. 001	
<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b> 1,00	<b>E.C.C.</b> 1,00
<b>Palo</b> n. 1	<b>Asc. X'</b> cm 0,0	<b>Ord. Y'</b> cm 0,0						<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0

### Elemento: 350 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.	
cm 1186,0	cm 650,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	Gradi° 0,00	n. 350	n. 001	
<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b> 1,00	<b>E.C.T.</b> 1,00
<b>Palo</b> n. 1	<b>Asc. X'</b> cm 0,0	<b>Ord. Y'</b> cm 0,0						<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0

### Elemento: 403 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.	
cm 1629,0	cm 650,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	cm 0,0	Gradi° 0,00	n. 403	n. 001	

<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b>	<b>E.C.C.</b>	<b>E.C.T.</b>	<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0; 0
------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------	---------------	---------------	----------------------------------	---------------------------------------

**Palo**  
n.  
1  
Asc. X'  
cm  
0,0  
Ord. Y'  
cm  
0,0

**Elemento: 1116 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

<b>X elem.</b> cm 743,0	<b>Y elem.</b> cm 300,0	<b>Prof.</b> cm 0,0	<b>Base</b> cm 0,0	<b>Lungh.</b> cm 0,0	<b>Altez.</b> cm 0,0	<b>Rot.</b> Gradi° 0,00	<b>Grup.ap.</b> n. 1116	<b>Ind.strat.</b> n. 001
-------------------------------	-------------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b>	<b>E.C.C.</b>	<b>E.C.T.</b>	<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0; 0
------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------	---------------	---------------	----------------------------------	---------------------------------------

**Palo**  
n.  
1  
Asc. X'  
cm  
0,0  
Ord. Y'  
cm  
0,0

**Elemento: 1165 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

<b>X elem.</b> cm 1186,0	<b>Y elem.</b> cm 300,0	<b>Prof.</b> cm 0,0	<b>Base</b> cm 0,0	<b>Lungh.</b> cm 0,0	<b>Altez.</b> cm 0,0	<b>Rot.</b> Gradi° 0,00	<b>Grup.ap.</b> n. 1165	<b>Ind.strat.</b> n. 001
--------------------------------	-------------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b>	<b>E.C.C.</b>	<b>E.C.T.</b>	<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0; 0
------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------	---------------	---------------	----------------------------------	---------------------------------------

**Palo**  
n.  
1  
Asc. X'  
cm  
0,0  
Ord. Y'  
cm  
0,0

**Elemento: 1207 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

<b>X elem.</b> cm 1629,0	<b>Y elem.</b> cm 300,0	<b>Prof.</b> cm 0,0	<b>Base</b> cm 0,0	<b>Lungh.</b> cm 0,0	<b>Altez.</b> cm 0,0	<b>Rot.</b> Gradi° 0,00	<b>Grup.ap.</b> n. 1207	<b>Ind.strat.</b> n. 001
--------------------------------	-------------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b>	<b>E.C.C.</b>	<b>E.C.T.</b>	<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0; 0
------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------	---------------	---------------	----------------------------------	---------------------------------------

**Palo**  
n.  
1  
Asc. X'  
cm  
0,0  
Ord. Y'  
cm  
0,0

**Elemento: 1275 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

<b>X elem.</b> cm 743,0	<b>Y elem.</b> cm 1030,0	<b>Prof.</b> cm 0,0	<b>Base</b> cm 0,0	<b>Lungh.</b> cm 0,0	<b>Altez.</b> cm 0,0	<b>Rot.</b> Gradi° 0,00	<b>Grup.ap.</b> n. 1275	<b>Ind.strat.</b> n. 001
-------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b>	<b>E.C.C.</b>	<b>E.C.T.</b>	<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0; 0
------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------	---------------	---------------	----------------------------------	---------------------------------------

**Palo**  
n.  
1  
Asc. X'  
cm  
0,0  
Ord. Y'  
cm  
0,0

**Elemento: 1324 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

<b>X elem.</b> cm 1186,0	<b>Y elem.</b> cm 1030,0	<b>Prof.</b> cm 0,0	<b>Base</b> cm 0,0	<b>Lungh.</b> cm 0,0	<b>Altez.</b> cm 0,0	<b>Rot.</b> Gradi° 0,00	<b>Grup.ap.</b> n. 1324	<b>Ind.strat.</b> n. 001
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

<b>Dia. P.</b> cm 60,0	<b>Lun. P.</b> cm 1500,0	<b>Lun. L.</b> cm 0,0	<b>Dist.P.</b> cm 0,0	<b>In. Px</b> cm 0,0	<b>In. Py</b> cm 0,0	<b>Dia. B.</b> cm 0,0	<b>Lun. B.</b> cm 0,0	<b>E.C.V.</b>	<b>E.C.C.</b>	<b>E.C.T.</b>	<b>Svin.testa</b> codice 0	<b>Vin.piede</b> codice 0; 0; 0
------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------	---------------	---------------	----------------------------------	---------------------------------------

**Palo**  
n.  
1  
Asc. X'  
cm  
0,0  
Ord. Y'  
cm  
0,0

**Elemento: 1366 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati**

<b>X elem.</b> cm 1629,0	<b>Y elem.</b> cm 1030,0	<b>Prof.</b> cm 0,0	<b>Base</b> cm 0,0	<b>Lungh.</b> cm 0,0	<b>Altez.</b> cm 0,0	<b>Rot.</b> Gradi° 0,00	<b>Grup.ap.</b> n. 1366	<b>Ind.strat.</b> n. 001
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

<b>Dia. P.</b> cm	<b>Lun. P.</b> cm	<b>Lun. L.</b> cm	<b>Dist.P.</b> cm	<b>In. Px</b> cm	<b>In. Py</b> cm	<b>Dia. B.</b> cm	<b>Lun. B.</b> cm	<b>E.C.V.</b>	<b>E.C.C.</b>	<b>E.C.T.</b>	<b>Svin.testa</b> codice	<b>Vin.piede</b> codice
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	---------------------	---------------------	----------------------	----------------------	---------------	---------------	---------------	-----------------------------	----------------------------

60,0	1500,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 0
Palo n. 1	Asc. X' cm 0,0	Ord. Y' cm 0,0										

<b>Elemento: 1448 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati</b>												
X elem. cm 300,0	Y elem. cm 300,0	Prof. cm 0,0	Base cm 0,0	Lungh. cm 0,0	Altez. cm 0,0	Rot. Gradi° 0,00	Grup.ap. n. 1448	Ind.strat. n. 001				
Dia. P. cm 60,0	Lun. P. cm 1500,0	Lun. L. cm 0,0	Dist.P. cm 0,0	In. Px cm 0,0	In. Py cm 0,0	Dia. B. cm 0,0	Lun. B. cm 0,0	E.C.V. 1,00	E.C.C. 1,00	E.C.T. 1,00	Svin.testa codice 0	Vin.piede codice 0; 0; 0

<b>Elemento: 1449 - Palo singolo - Tipologia pali: trivellati</b>												
X elem. cm 300,0	Y elem. cm 1030,0	Prof. cm 0,0	Base cm 0,0	Lungh. cm 0,0	Altez. cm 0,0	Rot. Gradi° 0,00	Grup.ap. n. 1449	Ind.strat. n. 001				
Dia. P. cm 60,0	Lun. P. cm 1500,0	Lun. L. cm 0,0	Dist.P. cm 0,0	In. Px cm 0,0	In. Py cm 0,0	Dia. B. cm 0,0	Lun. B. cm 0,0	E.C.V. 1,00	E.C.C. 1,00	E.C.T. 1,00	Svin.testa codice 0	Vin.piede codice 0; 0; 0

<b>Elemento: 222 - Palo singolo</b>												
Cmb.	Tipo	Palo	coord.X n. 1	coord.Y cm 0,000		N daN -57430,0	N lim daN -97449,7	Ver.N 0,589				Stato
Sollecitazioni:												
Cmb	Tipo	Sism.	N daN -57430,0	Tx daN -28510,0		Ty daN -559,7	Mx daN cm -25720,0	My daN cm 2063000,0				

<b>Elemento: 289 - Palo singolo</b>												
Cmb.	Tipo	Palo	coord.X n. 1	coord.Y cm 0,000		N daN -52460,0	N lim daN -97449,7	Ver.N 0,538				Stato
Sollecitazioni:												
Cmb	Tipo	Sism.	N daN -52460,0	Tx daN 2570,1		Ty daN -62,2	Mx daN cm -1392,3	My daN cm -244000,0				

<b>Elemento: 350 - Palo singolo</b>												
Cmb.	Tipo	Palo	coord.X n. 1	coord.Y cm 0,000		N daN -48100,0	N lim daN -97449,7	Ver.N 0,494				Stato
Sollecitazioni:												
Cmb	Tipo	Sism.	N daN -48100,0	Tx daN -2622,3		Ty daN -109,5	Mx daN cm -6189,2	My daN cm 149900,0				

<b>Elemento: 403 - Palo singolo</b>												
Cmb.	Tipo	Palo	coord.X n. 1	coord.Y cm 0,000		N daN -48100,0	N lim daN -97449,7	Ver.N 0,494				Stato
Sollecitazioni:												
Cmb	Tipo	Sism.	N daN -48100,0	Tx daN -2622,3		Ty daN -109,5	Mx daN cm -6189,2	My daN cm 149900,0				

Nq = 7.866,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ , Nc = 18.865, c punta = 0.300

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN							
<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN	
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
025	SLU STR	No	-42820.0	-7993.9	-230.0	-21790.0	511900.0

#### Elemento: 1116 - Palo singolo

$Nq = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $Nc = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN							
<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN	
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
239	SLV A1 sism.	Si	-56440.0	1054.7	-4426.0	169300.0	-292800.0

#### Elemento: 1165 - Palo singolo

$Nq = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $Nc = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN							
<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN	
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
117	SLU STR	No	-48570.0	-3000.3	5082.5	527700.0	168300.0

#### Elemento: 1207 - Palo singolo

$Nq = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $Nc = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN							
<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN	
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
034	SLU STR	No	-43750.0	29580.0	-13710.0	-844500.0	-2260000.0

#### Elemento: 1275 - Palo singolo

$Nq = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $Nc = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN							
<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN	
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
234	SLV A1 sism.	Si	-56150.0	1191.1	4515.5	-138700.0	-305000.0

#### Elemento: 1324 - Palo singolo

$Nq = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $Nc = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN							
<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN	
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
093	SLU STR	No	0.000	0.000	-46460.0	-97449.7	0,477

093	SLU STR	No	-46460.0	-3005.9	-4831.0	-436000.0	173600.0
-----	---------	----	----------	---------	---------	-----------	----------

**Elemento: 1366 - Palo singolo**

$N_q = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $N_c = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
038	SLU STR	1	0.000	0.000	-41860.0	-97449.7	0,430	Ok
Sollecitazioni:								
Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
038	SLU STR	No	-41860.0	29440.0	14580.0	968300.0	-2245000.0	

**Elemento: 1448 - Palo singolo**

$N_q = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $N_c = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
239	SLV A1 sism.	1	0.000	0.000	-75100.0	-97449.7	0,771	Ok
Sollecitazioni:								
Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
239	SLV A1	Si	-75100.0	2532.3	-3577.9	298300.0	-521300.0	

**Elemento: 1449 - Palo singolo**

$N_q = 7.866$ ,  $\sigma_{\text{punta}} = 2.924$ ,  $\phi = 20.0$ ,  $N_c = 18.865$ ,  $c_{\text{punta}} = 0.300$

Port. lat. = 142220.8 daN, Port. punta = 81025.8 daN, P.P.Palo = 10602.9 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
234	SLV A1 sism.	1	0.000	0.000	-74150.0	-97449.7	0,761	Ok
Sollecitazioni:								
Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
234	SLV A1	Si	-74150.0	2152.3	3617.0	-290800.0	-455600.0	

## VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI PROFONDE

**Elemento: 222 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
164 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-42990.0	0.179
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
164	SLE rare	No	-42990.0	-18980.0	-370.4	-15260.0	1366000.0	

**Elemento: 289 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
163 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-39160.0	0.163
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
163	SLE rare	No	-39160.0	1716.7	-57.1	-1763.2	-168400.0	

**Elemento: 350 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
149 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-35780.0	0.149
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
149	SLE rare	No	-35780.0	-1744.8	-91.0	-5199.3	94460.0	

**Elemento: 403 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
149 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-31740.0	0.132
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
149	SLE rare	No	-31740.0	-5286.2	-178.3	-16530.0	330400.0

**Elemento: 1116 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
195 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-39680.0	0.165
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
195	SLE rare	No	-39680.0	1929.2	3621.8	390900.0	-186900.0

**Elemento: 1165 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
195 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-36130.0	0.150
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
195	SLE rare	No	-36130.0	-2007.4	3534.0	375700.0	107900.0

**Elemento: 1207 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
154 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-32380.0	0.135
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
154	SLE rare	No	-32380.0	19780.0	-8977.0	-536800.0	-1520000.0

**Elemento: 1275 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
183 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-38100.0	0.159
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
183	SLE rare	No	-38100.0	1952.1	-3398.1	-321400.0	-187700.0

**Elemento: 1324 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
183 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-34550.0	0.144
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
183	SLE rare	No	-34550.0	-2011.7	-3332.1	-306000.0	111800.0

**Elemento: 1366 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
156 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-30980.0	0.129
Sollecitazioni:					

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
156	SLE rare	No	-30980.0	19670.0	9593.0	627800.0	-1508000.0

**Elemento: 1448 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X	coord.Y	N	Ced.Vert
n.	n.	cm	cm	daN	cm
204 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-44740.0	0.186
Sollecitazioni:					

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N daN	Tx daN	Ty daN	Mx daN cm	My daN cm
204	SLE rare	No	-44740.0	-17960.0	-10210.0	-646200.0	1247000.0

**Elemento: 1449 - Palo singolo**

Cmb. (Tipo)	Palo	coord.X n. cm	coord.Y cm	N daN	Ced.Vert cm
190 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-42750.0	0.178

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N daN	Tx daN	Ty daN	Mx daN cm	My daN cm
190	SLE rare	No	-42750.0	-18930.0	11460.0	796200.0	1364000.0