

DIPARTIMENTO ECONOMIA PUBBLICA

Calcolo dell'assestamento  
di un palo

Rapporto Interno Nr. 014

Bellinzona, 15 marzo 1983

UFFICIO GEOLOGICO  
CANTONALE

Secondo Cambefort l'assestamento di un palo singolo, dipende: dall'assestamento, dall'attrito laterale e dalla resistenza alla punta.

$$S = \frac{4.P}{\pi.d} \cdot \frac{1 + \frac{R}{a.d.E.} \cdot \operatorname{tgh}(a.L)}{R + a.d.E. \operatorname{tgh}(a.L)} \quad (1)$$

dove:

$$a = \sqrt{\frac{4.B}{d.E}}$$

$$R \text{ (to/m}^2\text{)} = 4.5 M_E \text{ (per pali perforati)}$$

$$R \text{ (to/m}^2\text{)} = 13.5 M_E \text{ (per pali battuti)}$$

$$B \text{ (to/m}^3\text{)} = 0.417 M_E \text{ (per pali perforati)}$$

$$B \text{ (to/m}^3\text{)} = 1.25 M_E \text{ (per pali battuti)}$$

$$S \text{ (m)} = \text{assestamento di un palo}$$

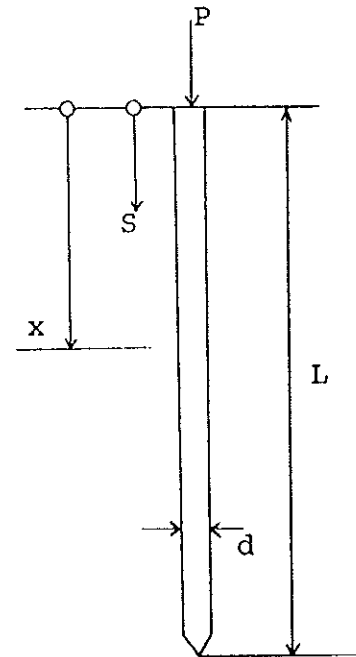
$$P \text{ (to)} = \text{carico}$$

$$d \text{ (m)} = \text{diametro del palo}$$

$$L \text{ (m)} = \text{lunghezza utile}$$

$$E \text{ (to/m}^2\text{)} = \text{modulo elastico del palo}$$

$$M_E \text{ (to/m}^2\text{)} = \text{modulo di compressibilità medio del terreno lungo } L.$$



La tensione normale  $\sigma_x$  nel palo alla profondità  $x$ , partendo da un assestamento conosciuto è:

$$\sigma_x = \sigma_{x0} \cdot \cosh(a.x) - a.s.E. \sinh(a.x) \quad (2)$$

dove per  $x = 0$

$$\sigma_x = \sigma_{x0} \quad \frac{4.P}{\pi.d^2} \quad (3)$$

Partendo da un assestamento conosciuto, l'attrito laterale specifico  $q_{mx}$ , alla profondità  $x$ , sarà:

$$q_{mx} = B.S. \cosh(a.x) - \frac{\sigma_{x0}.B}{a.E} \sinh(a.x) \quad (4)$$

per  $x = 0$  sarà

$$q_{m0} = B.s$$

Alcuni valori arrotondati delle funzioni iperboliche sono, coseno e tangente, calcolati in base alle seguenti formule, sono riportati in tabella 1.

$$\text{Sinh } (x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\text{Cosh } (x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\text{tgh } (x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

x	Sinh (x)	Cosh (x)	Tgh (x)
0	0,00	1,00	0,00
0,1	0,10	1,01	0,10
0,2	0,20	1,02	0,20
0,3	0,30	1,04	0,30
0,4	0,41	1,08	0,38
0,5	0,52	1,13	0,46
0,6	0,64	1,19	0,54
0,7	0,76	1,26	0,60
0,8	0,89	1,34	0,66
0,9	1,03	1,43	0,72
1,0	1,18	1,54	0,76
1.5	2.13	2.35	0.91
2.0	3.63	3.76	0.96
2.5	6.05	6.13	0.99
3.0	10.02	10.07	1.00
3.5	16.54	16.57	1.00
4.0	27.29	27.31	1.00
5.0	74.20	74.21	1.00
6.0	201.71	201.72	1.00

Esempio di calcolo:

Calcolato l'assestamento  $s$ , provocato da un carico  $P$  di 530 to, su un palo perforato in calcestruzzo avente un diametro di 75 cm e una lunghezza utile di 9 m in un materiale con  $M_E = a$  300 kg/cm<sup>2</sup>

$$E = 350'000 \text{ kg/cm}^2 = 3,5 \cdot 10^6 \text{ to/m}^2$$

$$M_E = 3'000 \text{ to/m}^2$$

$$R = 4,5 \cdot 3'000 = 13,5 \cdot 10^3 \text{ to/m}^2$$

$$B = 0,417 \cdot 3'000 = 1,251 \cdot 10^3 \text{ to/m}^3$$

$$a = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,251 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 3,5 \cdot 10^6}} \approx 0,044 \left( \frac{1}{\text{m}} \right)$$

$$a \cdot L = 0,044 \cdot 9 \approx 0,4$$

$$\text{tgh}(a \cdot L) \approx 0,38$$

Dalla formula 1 si ricava:

$$S = \frac{4 \cdot 530}{\pi \cdot 0,75} \cdot \frac{1 + \frac{13,5 \cdot 10^3}{0,044 \cdot 0,75 \cdot 3,5 \cdot 10^6} \cdot 0,38}{13,5 \cdot 10^3 + 0,044 \cdot 0,75 \cdot 3,5 \cdot 10^6 \cdot 0,38}$$

$$S = 0,0161 \text{ m}$$

$$S = 1,6 \text{ cm}$$

Con l'ausilio delle formule 2,3,4 e 5 e sulla base del cedimento di 1,6 cm si può vedere come il carico di 530 to sia ripartito tra la portata di punto e quella per attrito laterale. Con la formula 5 si calcola l'attrito laterale specifico in prossimità della testa:

$$\sigma_m = 1,251 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \approx 20,0 \text{ to/m}^2$$

La formula 4, per  $x = 9,0 \text{ m}$ , è:

$$\sigma_{mL} = B \cdot s \cdot \cosh(a \cdot L) - \frac{\sigma_{x0} \cdot B}{a \cdot E} \cdot \sinh(a \cdot L)$$

Dalla formula 3 la tensione normale nella testa è

$$\sigma_{x0} = \frac{4 \cdot 530}{\pi \cdot (0,75)^2} \approx 1200 \text{ to/m}^2$$

$$a \cdot L = 0,044 \cdot 9,0 \approx 0,4$$

$$\sinh(a \cdot L) \approx 0,41$$

$$\cosh(a \cdot L) \approx 1,08$$

$$q_{mL} = 1,251 \cdot 10^3 \cdot 0,016 \cdot 1,08 - \frac{1200 \cdot 1,251 \cdot 10^3}{0,044 \cdot 3,5 \cdot 10^6} \cdot 0,41 \approx 17,6 \text{ to/m}^2$$

La portata specifica media laterale è:

$$q_m = \frac{1}{2} (q_{m0} + q_{mL}) \approx 18,8 \text{ to/m}^2$$

Con una superficie del palo di circa 21,2 m<sup>2</sup> la portata per attrito laterale risulta

$$Q_m = q_m \cdot F_m = 18,8 \cdot 21,2 \approx 398 \text{ to}$$

Questo significa che il carico di 530 to è portato per circa il 75,5% per attrito e per il 24,5% dalla punta.

$$P = Q_s + Q_m \approx 130 + 400$$

Con la formula 2 si può controllare direttamente la resistenza alla punta. La tensione normale  $\sigma_L$  nel palo alla profondità L è

$$\sigma_L = 1200 \cdot 1,08 - 0,044 \cdot 0,016 \cdot 3,5 \cdot 10^6 \cdot 0,41 \approx 286 \text{ to/m}^2$$

con  $F = \frac{\pi d^2}{4} = 0,442 \text{ m}^2$  risulta

$$Q_s = \sigma_L \cdot F = 286 \cdot 0,442 \approx 126,5 \text{ to}$$

La teoria delle formule sopra esposte è riportata nell'articolo di Cassan. Si deve comunque tener sempre presente che questi calcoli sono solo delle stime di grandezza, che devono essere verificate caso per caso.

H. Cambefort: Essai sur le comportement en terrain homogène des pieux isolés et des groupes de pieux.  
Annales de l'Institut Technique du Bâtiment e des T.P., Nr. 204, 1964.

M. Cassan: Le bassement de pieux, synthèse des recherches récentes et essais comparatifs.  
Sols Soils Nr. 18-19, 1966 e  
Sols Soils Nr. 20, 1968