

C 2.2 - CAPACITÀ PORTANTE STRUTTURALE

La capacità portante strutturale di un palotirante a vite dipende strettamente dalle dimensioni geometriche di quest'ultimo e dai materiali utilizzati, ma si è stati in grado di correlarla anche alla resistenza di punta R_p e quindi alla pressione agente sulle viti.

Un'attenta analisi agli Elementi Finiti svolta con il programma STRAUS7 e conforme alla Normativa NTC 2018 ha permesso di valutare la resistenza meccanica ultima di una vite (o elicoide), in differenti configurazioni palo-elicoide, al crescere del carico verticale applicato in corrispondenza del fusto.

Per individuare le resistenze meccaniche correlate alle tipologie di terreno, lo studio è stato svolto assumendo il modello di suolo elastico alla Winkler, il quale ipotizza che la pressione esercitata dalla fondazione sul terreno sia proporzionale all'abbassamento del suolo.

Il modulo di Winkler è espresso come una pressione in rapporto ad uno spostamento [kg/cm² o ton/mc]; non è una proprietà del terreno (Viggiani, 1999) ma è strettamente legato alla natura dello stesso. In genere aumenta con il crescere della granulometria e del valore della R_p .

In questo modo si è potuto correlare direttamente i valori della resistenza di punta, R_p , con i tipi di terreno, il modulo di Winkler e, quindi, la deformazione strutturale.

Per ciascuna configurazione palo-elicoide prodotta sono state fornite le curve carico applicato-deformazione elica, con l'individuazione dei

relativi valori del carico per il quale si verifica il primo snervamento e la rottura dell'elica.

Di conseguenza è stata fatta l'ipotesi, opportunamente ragionata e giustificata dal voler limitare i cedimenti complessivi del sistema palo-terreno, di limitare le deformazioni agli estremi dell'elica. In questa maniera si sono individuati i limiti di 8 mm di deformazione per Winkler 1'000 t/mc e 12 mm per Winkler 10'000 t/mc (fatta eccezione per i pali dal fusto di piccolo diametro (48,3 - 60,3 - 76,1 - 88,9 mm) per i quali si è individuata la deformazione massima di 7,5 mm, per entrambi i valori estremi di Winkler).

Con questa metodologia di calcolo il caso in trazione è del tutto simile al caso in compressione. Infatti i valori andranno a modificarsi solo per effetto della variazione di alcune condizioni al contorno quali il calcolo della R_p media e l'uso dell'area netta dell'elicoide (vedasi C. 2.1.1.2).

Detto ciò, per ciascuna configurazione palo-elicoide prodotta da Geopalitalia, conoscendo il valore della resistenza di punta R_p in cui va a ricadere l'elicoide, si ricava immediatamente la portata strutturale di ogni singolo elemento.

Per ogni tipologia di palotirante prodotto in stabilimento, Geopalitalia fornisce, oltre ai certificati di legge, anche i valori della capacità portante strutturale delle viti ricavati da analisi FEM.

Diversamente dall'analisi della capacità portante strutturale di un palotirante Geopal® con il metodo FEM, di seguito si vuole riportare la procedura d'analisi classica che determina la capacità resistente mas-

sima di una vite continua, ovvero di una spirale.

Questo metodo della calcolazione alfanumerica consente, in modo forse più evidente, un approccio diretto e comprensibile nel determinare le tensioni indotte sugli elementi elicoidali di una struttura dedicata.

Si parte dall'ipotesi che la portanza di punta venga messa all'attivo dell'equilibrio in virtù dell'elica posta alla base, la quale pertanto dovrà essere tassativamente a due spire, delle quali la mediana completa si intende geotecnicamente efficace, mentre la mezza in entrata e la mezza in uscita si intendono dedicate unicamente all'instaurazione della continuità statica per il campo di sollecitazione della voluta interposta.

Eventuali eliche disposte lungo il fusto del micropalo, ad una spira, se introdotte in quanto ritenute utili nel caso di specie, apportano i seguenti ulteriori benefici:

1. recupero di portanza laterale, nello stile dei pali di grande diametro;
2. stabilizzazione del fusto del palo se allocato in attraversamento a spessi strati molto soffici e plastici.

L'elica si intende connessa per saldatura in tutta la sua interferenza all'attacco con il tubo. Le risultanze dell'articolo del Prof. Ing. Osvaldo Zanoboni, "Travi ad elica e travi ad asse circolare orizzontale", comparso in Il Cemento Armato - Le Industrie del Cemento, n. 2, febbraio 1939, XVII, permettono di considerare come sezione resistente quella controllata dalla larghezza orizzontale della sezione nell'attacco piuttosto che lo spessore all'attacco della struttura a lamina elicoidale.

Ciò premesso, siano:

p : il passo dell'elica,

ϕ_e : il diametro esterno della struttura a lamina elicoidale,

ϕ_p : il diametro del tubo del micropalo,

s : lo spessore della struttura a lamina elicoidale all'attacco col tubo.

Per le ipotesi fatte, e sulla base dei simboli introdotti, si ha, per quanto riguarda la caratterizzazione geometrico-inerziale del sistema, quanto segue:

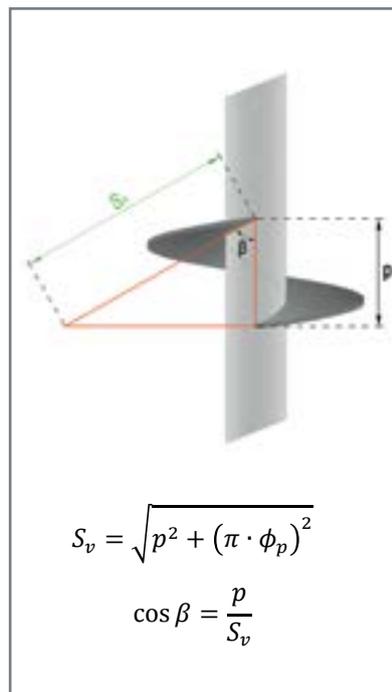
$$\cos \beta = \frac{p}{\sqrt{p^2 + (\pi \cdot \phi_p)^2}}$$

$$S_{eq} = \frac{s}{\cos \beta}$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot S_{eq} \cdot p^2$$

Si suppone, a favore di sicurezza, che la forza limite applicata alla spira staticamente efficace agisca a $(2/3) \cdot (\phi_e/2 - \phi_p/2)$ dall'attacco col tubo, cioè si fa riferimento ad una distribuzione triangolare, piuttosto che trapezoidale, delle forze ad unità di lunghezza contata lungo il raggio da $\phi_p/2$ a $\phi_e/2$.

Figura C.7 - Rappresentazione schematica di un elicoide della spira.



Si ha allora:

$$M_{lim} = \frac{2}{3} \cdot (\phi_e - \phi_p) \cdot \frac{1}{2} \cdot T_{lim} = \frac{1}{3} \cdot T_{lim} \cdot (\phi_e - \phi_p)$$

Nel prosieguo, al solo scopo di ottenere un algoritmo speditivo per il dimensionamento, si fa riferimento al metodo delle tensioni ammissibili, il quale, per come delineato, si incentra su formule tutte agevolmente invertibili, diversamente da come è noto accade con gli attuali metodi agli Stati Limite. Questi ultimi dovranno rimanere univoci ed irrinunciabili nelle verifiche finali, anche perché non venga disattesa la dovuta ottemperanza alle leggi vigenti.

Si ha allora:

$$\tau = \frac{1,5 \cdot T_{lim}}{S_{eq} \cdot p}$$

essendo T_{lim} il massimo sforzo di taglio ammissibile in esercizio.

In base all'enunciato delle tensioni ideali, e sostituendo le formule prima indicate, si ha:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_{lim}}{W}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{1,5 \cdot T_{lim}}{S_{eq} \cdot p}\right)^2} = T_{lim} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{3} \cdot \frac{\phi_e - \phi_p}{W}\right]^2 + 3 \cdot \left[\frac{1,5}{S_{eq} \cdot p}\right]^2}$$

Ponendo la tensione ideale uguale alla tensione ammissibile, si ha:

$$\begin{aligned} T_{lim} &= \frac{\sigma_{id,amm}}{\sqrt{\left[\frac{1}{3} \cdot \frac{\phi_e - \phi_p}{W}\right]^2 + 3 \cdot \left[\frac{1,5}{S_{eq} \cdot p}\right]^2}} = \frac{\sigma_{id,amm}}{\sqrt{\left[\frac{1}{3} \cdot \frac{\phi_e - \phi_p}{\frac{1}{6} \cdot S_{eq} \cdot p^2}\right]^2 + 3 \cdot \left[\frac{1,5}{S_{eq} \cdot p}\right]^2}} \\ &= \frac{\sigma_{id,amm}}{\sqrt{\left[\frac{2 \cdot (\phi_e - \phi_p)}{S_{eq} \cdot p^2}\right]^2 + 6,75 \cdot \left[\frac{1}{S_{eq} \cdot p}\right]^2}} \end{aligned}$$

Ricordando che è:

$$S_{eq} = \frac{s}{\cos \beta} = s \cdot \frac{\sqrt{p^2 + (\mu \cdot \phi_p)^2}}{p}$$

$$S_{eq} \cdot p = s \cdot \sqrt{p^2 + (\pi \cdot \phi_p)^2}$$

Si ottiene:

$$T_{lim} = \frac{\sigma_{lim} \cdot s \cdot \sqrt{p^2 + (\pi \cdot \phi_p)^2}}{\sqrt{6,75 + 4 \cdot \left(\frac{\phi_e - \phi_p}{p}\right)^2}}$$

Si ricordi allora che il palo è ben sfruttato quando le sue risorse statiche come struttura si equivalgono alle sue risorse geostatiche come oggetto interferente col terreno. T_{lim} deve allora essere eguagliato al rapporto tra la potenza consentita dal terreno e dalla geometria generale del palo e il coefficiente di sicurezza prescritto dalla vigente normativa.

Dalla geotecnica classica si evince che la portata del palo è data da:

$$Q_f = A_b \cdot (C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D \cdot N_q) = \frac{\pi}{4} \cdot \phi_e^2 \cdot (C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D \cdot N_q)$$

Ne segue, per quanto detto:

$$T_{lim} = \text{carico ammissibile in esercizio}$$

$$T_{lim} = \frac{Q_f}{\eta} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\phi_e^2}{\eta} \cdot (C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D \cdot N_q)$$

$$\frac{4 \cdot \eta \cdot T_{lim}}{\pi \cdot \phi_e^2} = C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D \cdot N_q$$

Per un assegnato coefficiente di sicurezza η si può isolare la profondità D a cui va fermato il micropalo:

$$\left[\frac{4 \cdot \eta \cdot T_{lim}}{\pi \cdot \phi_e^2} - C \cdot N_c \right] \cdot \frac{1}{\gamma_t \cdot N_q} = D$$

C 3 - ESEMPI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI PALOTIRANTI

C 3.1 - PREMESSA

Come esempio dimostrativo, si pone l'obiettivo di determinare la capacità portante di una fondazione su pali a vite posizionati alla base di un campanile, in condizioni litostratigrafiche diverse (Figure C.8, C.9 e C.10).

Lungo il perimetro del campanile sono presenti anche dei tiranti di ancoraggio, realizzati con analoghe caratteristiche, che svolgono la funzione di contenere le azioni simiche e del vento, essendo l'opera già affetta da cedimenti differenziali. Si tiene conto delle diverse litologie attraversate dai suddetti palotiranti nella verticale, per le quali deve essere associato il relativo parametro geotecnico di riferimento.

Si vuole calcolare, quindi, la capacità portante a compressione e a trazione rispettivamente dei palopuntoni e dei palotiranti agli Stati Limite Ultimi, opportunamente coefficientati secondo quanto previsto dalle NTC 2018.

Le tre litologie indicate negli esempi determinano la scelta del tipo di palotirante più adatto allo scopo. Si eseguono quindi le relative verifiche con le tre tipologie di palo: P2G - PVD - PVC.

Figura C.8 - P2G.

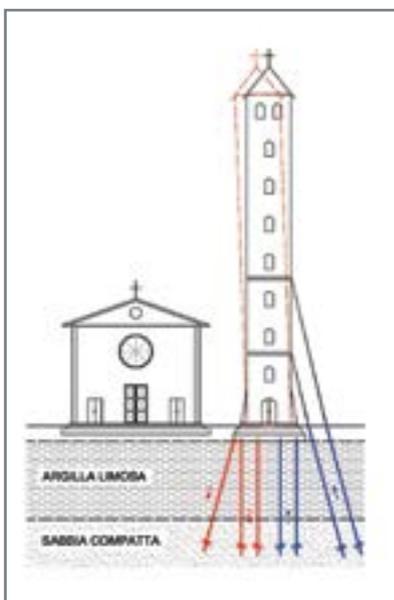


Figura C.9 - PVD.

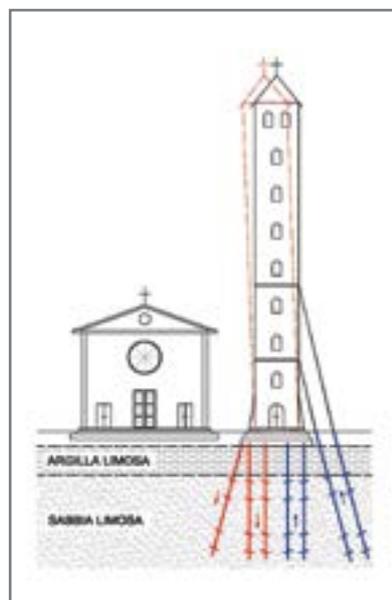


Figura C.10 - PVC.

