

vite sottoposta a carico crescente e non rappresentano il diagramma di cedimento del sistema palo-terreno. Inoltre, le analisi svolte non riguardano la portanza geotecnica del palo né il calcolo del cedimento del sistema palo-terreno, che devono essere sempre di volta in volta calcolate in funzione alla stratigrafia del sito di installazione.

B 3.3 - CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLE VERIFICHE SECONDO IL D.M. 2018

Le resistenze meccaniche determinate sono da intendersi come capacità resistenti ultime caratteristiche determinate secondo il "metodo elasto-plastico" (paragrafo 4.2.3.2 del D.M. 2018).

Per le verifiche agli stati limite ultimi, secondo il paragrafo 4.2.4.1.1 del D.M. 2018, le resistenze di progetto vanno determinate a partire dalle resistenze caratteristiche secondo la formula:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

dove:

- R_k è la resistenza caratteristica della membratura (nel caso di specie la resistenza dedotta dalle analisi elasto-plastiche);
- γ_M è un coefficiente di sicurezza sul materiale. Per le verifiche di resistenza è assunto pari a 1,05.

B 3.4 - VALUTAZIONE DELLE PORTATE STRUTTURALI PALO-ELICOIDE

B 3.4.1 - Inquadramento del problema

L'analisi svolta con il programma STRAUS 7 ha permesso di valutare la resistenza meccanica ultima di

un elicoide-vite, in differenti configurazioni palo-elicoide, al crescere del carico verticale applicato in corrispondenza all'asse del fusto.

Per ciascuna configurazione studiata, sono state fornite le curve carico applicato-deformazione vite con l'individuazione dei relativi valori del carico per il quale si verifica il primo snervamento e la rottura della vite (o, in alcuni casi, del fusto). Sulla base dei suddetti risultati, l'obiettivo del presente lavoro è di determinare le portate strutturali della vite agli SLE e agli SLU per ciascuna delle differenti configurazioni analizzate con modello numerico FEM.

B 3.4.2 - Normativa di riferimento

- D.M. 17/01/2018, "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circolare 2 Febbraio 2009, n. 617: "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008;
- D.M. 14/01/2008;
- D.M. 14/09/2005;
- O.P.C.M. 20/03/2003 n. 3274;
- D.P.R. 06/06/1999 n. 380;
- C.M. 14/12/1999 n. 346/STC;
- C.M. 16/12/1999 n. 349/STC;
- D.P.R. 21.04.1993 n. 246;
- L. 02.02.1974 n. 64;
- L. 05.11.1971 n. 1086;
- UNI EN 1993 (Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture in acciaio).

B 3.4.3 - Descrizione metodo di calcolo

Per prima cosa i risultati ottenuti dalla precedente analisi FEM, per ciascuna configurazione palo-elicoide, sono stati divisi per il coefficiente γ_M da normativa (1.05).

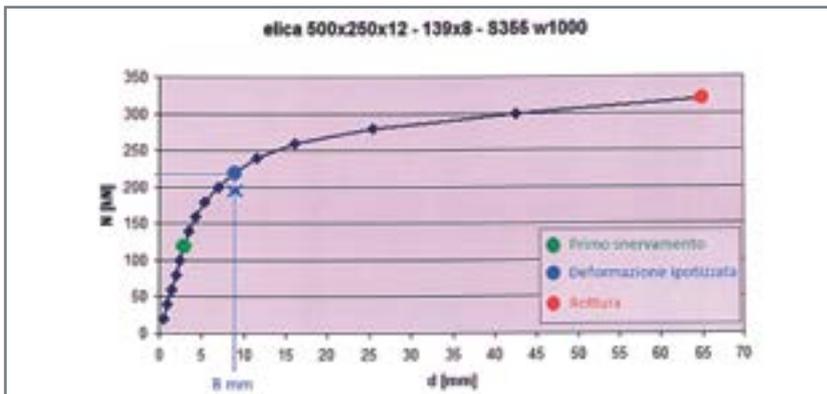


Figura B.32 - Diagramma deformazione acciaio; limitazione deformazione elica per modulo di Winkler 1000 t/m³.

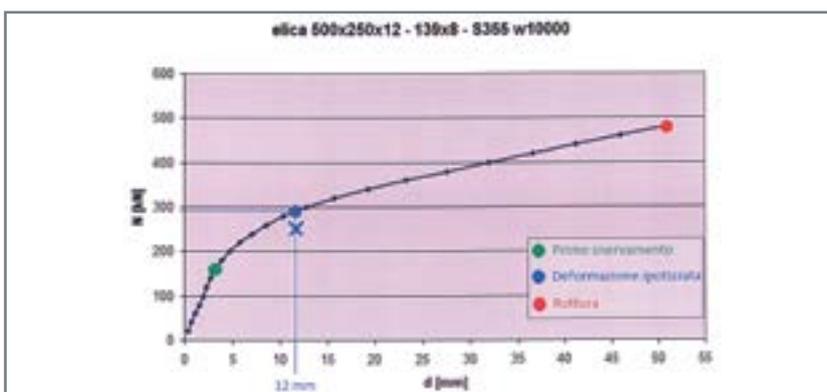
Successivamente, poiché lo studio delle resistenze meccaniche è stato svolto per modulo di Winkler pari a 1000 t/m³ e 10000 t/m³, è stata svolta un'interpolazione lineare dei risultati ottenuti (curva carico applicato-deformazione elica), così da consentire di estendere i carichi strutturali agli SLE e agli SLU, per valori del modulo di Winkler compresi tra 500 e 10000 t/m³.

A questo punto, per proseguire l'analisi, è stata fatta l'ipotesi, opportunamente ragionata e giustificata dal voler limitare i cedimenti complessivi (originati dal terreno e dall'acciaio) del sistema palo-terreno, di limitare le deformazioni agli estremi dell'elica a 8 mm per Winkler 1000 t/m³ e 12 mm per Winkler 10000 t/m³ (fatta eccezione per i diametri dei pali 48,3; 60,3; 76,1 e 88,9 mm per i quali si è ipotizzata una deformazione massima

di 7,5 mm per entrambi i valori del modulo di Winkler) ottenendo i valori del carico strutturale agli SLU (valore "x" riportato nell'esempio delle figure B.32 e B.33) con deformazione elica compresa tra 8 e 12 mm. Successivamente sono stati individuati i tipi di terreno ed i relativi valori di R_p , corrispondenti ai vari moduli di Winkler. Inoltre, per ciascuna configurazione palo-elicoide, è stata calcolata la portata geotecnica relativa al solo elicoide. Fatto ciò, sono stati riportati i valori del carico strutturale agli SLE e agli SLU per il corrispondente tipo di terreno (o modulo di Winkler).

Infine, i carichi strutturali ottenuti dai calcoli precedentemente svolti sono stati analizzati in modo tale da determinare la portata strutturale del singolo elicoide in relazione al tipo di terreno. In pratica è stata svolta un'analisi delle portate in

Figura B.33 - Diagramma deformazione acciaio; limitazione deformazione elica per modulo di Winkler 10000 t/m³.



modo tale da attribuire all'elicoide la portata minima tra quella geotecnica offerta dal terreno e quella strutturale offerta dall'elicoide stesso.

Esempio tabella riassuntiva portate strutturali
La tabella di seguito riportata ha la finalità di fornire, per ciascuna

Figura B.34

Palotirante Φ 139.7 - Elicoide Φ 500.200 (ACCIAIO S355)

Il progettista DEVE verificare, una volta stabiliti gli elicoide ed il diametro del tubo da adottare, la stabilità del tubo a compressione ed instabilità.

ELICOIDI IN ACCIAIO S355

- Qp** = portata geotecnica della fusto tubolare alla base.
- Q1** = carico limite massimo DI OGNI ELICOIDE per capacità portante del terreno e campo elastico dell'elicoide
- Q2** = carico limite massimo DI OGNI ELICOIDE per capacità portante del terreno e rottura dell'elicoide (Secondo calcoli FEM)
- Q3** = carico limite massimo DI OGNI ELICOIDE. (Valore SLE x 1.5) - (Nel rispetto delle NTC 2008)
- nr** = per tale tipologia di terreno, il carico a rottura dell'elicoide non è teoricamente raggiungibile

| | | FUSTO | | Acciaio S355 | | | | |
|-----------------------------|------|-----------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | diametro | | PORTATA DI PUNTA FUSTO | | PORTATA ELICOIDE | | Q3 [t] (SLU) Coefficientato |
| | | 139,7 | | Qp [t] | Q1 [t] (SLE) | Q2 [t] (SLU) Reale | Q3 [t] (SLU) Coefficientato | |
| | | ELICOIDE | | diametro | | passo | | |
| | | 500 | | 200 | | | | |
| argille | 1,0 | Rp [kg/cm ²] | Winkler 1000 | 0,09 | 1,1 | nr | 1,6 | |
| | 2,0 | | | 0,18 | 2,1 | nr | 3,2 | |
| | 4,0 | | | 0,36 | 4,3 | nr | 6,4 | |
| | 6,0 | | | 0,54 | 6,4 | nr | 9,6 | |
| | 8,0 | | | 0,72 | 8,5 | nr | 12,8 | |
| | 10,0 | | | 0,90 | 10,6 | nr | 16,0 | |
| limi sabbiosi | 12,0 | Winkler 10000 | 1,08 | 11,4 | 12,8 | 17,1 | | |
| | 14,0 | | 1,26 | 11,4 | 14,9 | 17,1 | | |
| | 16,0 | | 1,44 | 11,4 | 17,0 | 17,1 | | |
| | 18,0 | | 1,62 | 11,4 | 19,1 | 17,1 | | |
| | 20,0 | | 1,80 | 11,4 | 19,9 | 17,1 | | |
| | 22,0 | | 1,98 | 11,4 | 19,9 | 17,1 | | |
| | 24,0 | | 2,16 | 11,4 | 20,7 | 17,1 | | |
| | 26,0 | | 2,34 | 11,4 | 20,7 | 17,1 | | |
| | 28,0 | | 2,52 | 11,4 | 20,7 | 17,1 | | |
| | 30,0 | | 2,70 | 11,4 | 21,6 | 17,1 | | |
| sabbie limose | 35,0 | Winkler 10000 | 3,15 | 11,4 | 21,6 | 17,1 | | |
| | 40,0 | | 3,60 | 11,4 | 21,6 | 17,1 | | |
| sabbie limo argillose | 45,0 | | 4,05 | 11,4 | 22,4 | 17,1 | | |
| | 50,0 | | 4,50 | 11,4 | 22,4 | 17,1 | | |
| | 55,0 | | 4,95 | 11,4 | 22,4 | 17,1 | | |
| sabbie | 60,0 | | 5,40 | 11,4 | 23,3 | 17,1 | | |
| | 65,0 | | 5,85 | 11,4 | 23,3 | 17,1 | | |
| | 70,0 | | 6,30 | 11,4 | 25,0 | 17,1 | | |
| | 75,0 | | 6,75 | 11,4 | 26,7 | 17,1 | | |
| sabbie ghiaiose | 80,0 | | 7,20 | 11,4 | 26,7 | 17,1 | | |
| | 85,0 | | 7,65 | 11,4 | 26,7 | 17,1 | | |
| | 90,0 | | 8,11 | 11,4 | 26,7 | 17,1 | | |

| | | |
|-----------------------------------|-------------|--|
| Winkler 1000 [t/m ²] | 30,5 | Portata strutturale elicoide a rottura |
| Winkler 10000 [t/m ²] | 45,7 | Portata strutturale elicoide a rottura |

N.B. I valori riportati in tabella sono riferiti ad elementi elicoidali ad 1 giro (360°).

configurazione palo-elica e in funzione del tipo di terreno (o R_p) in cui va ad ammorsarsi l'elica, la portata strutturale agli SLE e agli SLU dell'elica oggetto di studio.

Nella Figura B.34 sono riportate la portata geotecnica di punta del fusto (Q_p) e le portate strutturali dell'elicoide-vite agli SLE (Q_1) e agli SLU (Q_2) ottenuti dai passaggi precedentemente descritti.

B 3.4.4 - Portata geotecnica di punta del fusto

La portata Q_p è stata calcolata moltiplicando l'area di base del fusto del palo per R_p .

Il risultato è stato poi diviso per i coefficienti $\xi_3=1.48$, relativo al numero di verticali indagate (in questo caso 3), e $\gamma_p=1.15$, coefficiente da applicare alle resistenze caratteristiche (in questo caso coefficiente R_3) in conformità a quanto prescritto dalle NTC 2018.

B 3.4.5 - Portata strutturale della vite-elicoide

La portata Q_1 è stata calcolata utilizzando, al variare del modulo di Winkler, i valori dei carichi corrispondenti al primo snervamento dell'elicoide.

La portata Q_2 , invece, è stata calcolata utilizzando, al variare del modulo di Winkler, i carichi corrispondenti alle deformazioni dell'elicoide ipotizzate in fase di analisi (come precedentemente esplicitato).

Interpretando i risultati si evince che nella parte evidenziata in giallo il terreno non è in grado di far raggiungere il carico a rottura della vite; nella parte evidenziata in arancio si riporta la portata geotecnica che il terreno è in grado

di fornire, la quale, però, non è in grado di raggiungere il carico a rottura della vite; nella parte evidenziata in rosso si riporta la portata strutturale della vite (il terreno è in grado di garantire una portata geotecnica maggiore, ma non lo consente la vite stessa poiché per carichi maggiori non sarebbe rispettato il limite di deformazione ipotizzato in precedenza).

L'ultimo valore riportato nella colonna Q_2 rappresenta il carico a cui corrisponde una deformazione (elasto-plastica) dell'elicoide di 12 mm, oltre il quale è possibile ottenere portate strutturali maggiori, ma con la conseguenza di deformazioni maggiori.

Per determinare la portata strutturale della vite di punta, è sufficiente sommare $Q_p + Q_1$ (nel caso degli SLE) oppure $Q_p + Q_2$ (nel caso degli SLU).

N.B. Per ottenere le portate strutturali "reali" delle eliche agli SLU, occorre moltiplicare il valore ottenuto agli SLE per 1,5.

Pressoché lo stesso risultato può essere ottenuto dividendo il valore ottenuto agli SLU per 1,5.

Esempio determinazione portata strutturale elicoide

Portata richiesta palo:

SLE → 30 t SLU → 45 t

R_p medio terreno: 35 kg/cm²

Palotirante scelto: Φ 139,7 mm con viti di Φ 500.200 mm

Calcolo portate

A seguito di quanto precedentemente detto, per ottenere la portata strutturale del singolo elicoide agli SLU (secondo normativa), non bisogna considerare il valore riportato nella colonna Q_2 in tabella (SLU reale da analisi FEM), bensì moltiplicare il valore agli SLE cor-

rispondente, ad esempio con R_p di 35 kg/cm^2 , e cioè 11.4 t , per 1.5 ottenendo 17.1 t .

Per garantire le portate richieste, si dovranno prevedere 3 elicoidi, opportunamente distanziati lungo il fusto del palo. Con questa configurazione, le portate offerte dal palo sono:

$$\text{SLE} \rightarrow Q_{\text{SLE}} = Q_p + Q_1 = 3,15 + (3 \cdot 11,4) = 37,35 \text{ t} > 30 \text{ t}$$

$$\text{SLU} \rightarrow Q_{\text{SLU}} = Q_p + Q_3 = 3,15 + (3 \cdot 17,1) = 54,45 \text{ t} > 45 \text{ t}$$

B 4 - GEOTECNICA DEL PALOTIRANTE Geopal®

Il palotirante che viene avvitato nel terreno attraversa strati di varia natura e consistenza dalle diverse caratteristiche geo-meccaniche. Ne consegue un diverso comportamento e una diversa capacità portante a seconda di dove ricadano la punta o le viti intermedie.

Nella maggior parte dei casi, risulta che lo studio geotecnico dell'area si basa sui risultati di prove CPTU (CPT, SPT, ecc.) da cui si rilevano i dati diretti della resistenza alla punta R_p , la resistenza laterale R_L , il loro rapporto ' R_p/R_L ' (il quale permette di individuare il tipo di terreno) e la pressione neutra dell'acqua 'u'.

In assenza di prove di laboratorio, dalle prove penetrometriche è possibile ricavare alcuni parametri geotecnici (γ_{sat} , ϕ , c_u etc.) appoggiandosi a diversi studi teorici e correlazioni empiriche. Senza entrare in merito all'attendibilità dell'individuazione dei parametri geotecnici, si suggerisce di utilizzare, per quanto possibile, i valori ricavati direttamente in situ (R_p , R_L , u), con strumentazioni oggi giorno

attendibili, consentendo di limitare all'opportuno i coefficienti di sicurezza.

Sarà sempre e comunque compito del progettista scegliere i valori dei parametri e anche le teorie che cercano di descriverli, nella maniera più adatta al caso in esame, anche secondo propria esperienza.

Non si vuole qui ora esporre una trattazione generalista della parametrizzazione geotecnica dei terreni (che si affronterà più nel dettaglio negli esempi di calcolo), ma si andrà ad analizzare la materia geotecnica che si incontra nell'utilizzo dei palotiranti Geopal®.

Il terreno tende naturalmente a disporsi in livelli e strati di vario spessore, ognuno con i suoi punti di forza e di debolezza.

La Figura B.35 illustra il concetto di stratificazione.

Quando il palo viene avvitato nel terreno, passa attraverso strati di varia consistenza. Poiché ogni strato ha caratteristiche differenti, saranno osservati valori diversi di resistenza e di torsione mentre il palo attraversa ogni strato che incontra nella verticale.

Allo scopo Geopalitalia sta sviluppando e testando nuove strumentazioni atte a misurare, durante la fase di infissione, la resistenza che oppone il terreno alla penetrazione del palo e quindi, attraverso opportune formule e tabelle comparative, la capacità portante dello stesso, consentendo all'operatore di conoscere subito il valore senza eseguire le classiche prove di carico a fine lavori.

Tale strumentazione, però, richiede frequenti tarature così da consentire lo svolgimento di misure con una tolleranza massima del

Figura B.35

