

## S.G.C. E78 GROSSETO - FANO

Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa.  
Adeguamento a 2 corsie del tratto della Variante di Urbania

### PROGETTO DEFINITIVO

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA<br/>IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri<br/>Provincia di Roma n. 20629</p> | <p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorini</i></p> <p>Ordine Ingegneri<br/>Provincia di Roma n. A35111<br/>settore a-b-c</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i></p> <p>Ordine Ingegneri<br/>Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Muller</i></p> <p>Ordine Ingegneri<br/>Provincia di Roma n. 15754</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri<br/>Provincia di Roma n. 20629</p> | <p>PROGETTAZIONE ATI:<br/>(Mandataria)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b><br/>GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p><b>cooprogetti</b><br/><b>cocoprogetti</b></p> <p><b>engeko</b></p> <p><b>AIM</b><br/>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI<br/>SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i><br/>ORDINE INGEGNERI<br/>ROMA<br/>N° 14035</p> |
| <p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi<br/>della Regione Lazio n. 1069</p>                                     |  |   |
| <p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>   |  |   |
| <p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>  |  |   |

### OPERE D'ARTE MAGGIORI

Viadotti e Ponti

Ponte Cerreto

Relazione di calcolo delle fondazioni

| CODICE PROGETTO |  |             | NOME FILE                          | REVISIONE  | SCALA     |
|-----------------|--|-------------|------------------------------------|------------|-----------|
| PROGETTO        | LIV.PROG.  | ANNO        | T00VI05GETRE01_B                   |            |           |
| <b>DPAN247</b>  | <b>D</b>   | <b>22</b>   | CODICE ELAB. <b>T00VI05GETRE01</b> | <b>B</b>   | -         |
| D               |  |             |                                    |            |           |
| C               |  |             |                                    |            |           |
| B               | Rev. Ist.U.0039705 24/01/22 e Ist.U.0057794 01/02/22 | Feb. '22    | Belà                               | Signorelli | Guiducci  |
| A               | Emissione  | Ottobre '21 | Belà                               | Signorelli | Guiducci  |
| REV.            | DESCRIZIONE  | DATA        | REDATTO                            | VERIFICATO | APPROVATO |

## INDICE

|           |   |                  |
|-----------|---|------------------|
| <b>1.</b> | <b><u>PREMESSA.....</u></b>                                       | <b><u>2</u></b>  |
| <b>2.</b> | <b><u>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</u></b>                 | <b><u>2</u></b>  |
| 2.1.      | NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE .....                        | 2                |
| 2.1.      | ELABORATI DI PROGETTO.....  | 2                |
| <b>3.</b> | <b><u>INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....</u></b>                      | <b><u>3</u></b>  |
| <b>4.</b> | <b><u>CRITERI DI CALCOLO.....</u></b>                             | <b><u>4</u></b>  |
| 4.2.      | CARICO LIMITE ORIZZONTALE .....                                   | 7                |
| 4.3.      | COMPORTAMENTO AI CARICHI TRASVERSALI DEI PALI DI FONDAZIONE ..... | 8                |
| 4.4.      | SOLLECITAZIONI LUNGO IL FUSTO DEL PALO .....                      | 9                |
| 4.5.      | CALCOLO DEI CEDIMENTI.....  | 9                |
| <b>5.</b> | <b><u>RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI .....</u></b>              | <b><u>11</u></b> |
| <b>6.</b> | <b><u>PONTE CERRETO SPALLA A.....</u></b>                         | <b><u>12</u></b> |
| <b>7.</b> | <b><u>PONTE CERRETO SPALLA B.....</u></b>                         | <b><u>20</u></b> |

PROGETTAZIONE ATI:

## **1. PREMESSA**

Nel presente documento si riportano le analisi eseguite per la valutazione del carico limite verticale e orizzontale, dell'andamento delle sollecitazioni e dei cedimenti dei pali delle fondazioni previste per il Ponte Cerreto.

In particolare, si sono considerate le seguenti fondazioni;

- Spalla A
- Spalla B

Per le verifiche geotecniche dei pali e per la determinazione dei cedimenti si è fatto riferimento ai carichi di progetto riportati nella relazione di calcolo dell'opera [Elab. T00VI05STRRE02].

## **2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

### **2.1. NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE**

[NT1] D.M. del 17.01.2018 Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni.

[NT2] Circolare Ministeriale 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

### **2.1. ELABORATI DI PROGETTO**

[T00VI05STRRE02] Relazione tecnica e di calcolo opere d'arte maggiori viadotti e ponti - ponte Cerreto.

### 3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Le fondazioni previste per il Ponte Cerreto interessano le seguente unità geotecniche:

- **ALL-LA** (Depositi alluvionali fini) limo argilloso debolmente sabbioso e limo sabbioso debolmente argilloso, limo con argilla sabbioso;
- **ALL-Gh** (Depositi alluvionali grossolani) ghiaia con sabbia limosa, ghiaia con limo e argilla da sabbiosa a debolmente sabbiosa;
- **Sub\_alt** (Substrato alterato del flysch) strato di alterazione dell'unità marnoso arenacea. Costituito da marna e marna siltosa, limo con argilla da sabbioso a debolmente sabbioso, limo argilloso e ghiaia limosa
- **Sub** (Substrato marnoso arenaceo) substrato costituito da marna e marna argillosa, calcarenite e arenarie.

Nella seguente tabella sono stati riassunti i valori caratteristici di tutti i terreni sopra indicati:

**Tabella 3-1 Parametri fisici e meccanici delle unità geotecniche in sito.**

| UG      | Descrizione                     | $\gamma_n$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $c'$<br>(kPa) | $\phi'$<br>(°) | $c'_{res*}$<br>(kPa) | $\phi'_{res*}$<br>(°) | E<br>(MPa)   |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|---------------|----------------|----------------------|-----------------------|--|
| ALL-LA  | Depositi alluvionali fini       | 19÷20                              | 10 ÷ 20       | 22 ÷ 24        | -                    | -                     | 30   |
| ALL-Gh  | Depositi alluvionali grossolani | 20÷21                              | 0 ÷ 5         | 30 ÷ 35        | -                    | -                     | 20 per z>5 m<br>50 per 5 m<z<15 m<br>70 ÷ 100 per z>15 m |
| Sub_alt | Substrato alterato del flysch   | 20÷22                              | 10 ÷ 20       | 25 ÷ 30        | -                    | -                     | 20 per z>5 m<br>50 per 5 m<z<15 m<br>100 per z>15 m      |
| Sub     | Substrato marnoso arenaceo      | 23÷24                              | 30 ÷ 50       | 27 ÷ 30        | -                    | -                     | 2,5 *10 <sup>4</sup> ÷ 3,5*10 <sup>4</sup>               |

\* parametri derivati da prove di taglio diretto in condizioni residue

## 4. CRITERI DI CALCOLO

### 4.1. CARICO LIMITE VERTICALE

La valutazione del carico limite verticale dei pali è stata svolta secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente (DM 17/01/2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”).

La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{cd} \text{ o } F_{td} < R_{c,d} \text{ o } R_{t,d}$$

essendo:

$$R_{c,d} \text{ o } R_{t,d} = R_{c,k} \text{ o } R_{t,k} / \gamma_R$$

dove:

$F_{cd}$  = carico assiale a compressione di progetto

$F_{td}$  = carico assiale a trazione di progetto

$R_{c,k}$  = valore caratteristico della capacità portante limite del palo a compressione

$R_{t,k}$  = valore caratteristico della capacità portante limite del palo a trazione

In particolare, le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte con riferimento all’approccio 2, in accordo con la NTC2018 (cfr. §6.4.3.1):

Combinazione 1: A1 + M1 + R3

I coefficienti parziali sui parametri geotecnici vengono quindi presi unitari.

La resistenza di progetto, a compressione,  $R_{c,d}$  o a trazione  $R_{t,d}$ , è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  o  $R_{t,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  (R3) riportati in Tabella 4-1, relativi alla condizione di pali trivellati.

**Tabella 4-1**

| Resistenza               | Simbolo       | Pali infissi | Pali trivellati | Pali ad elica continua |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
|                          | $\gamma_R$    | (R3)         | (R3)            | (R3)                   |
| Base                     | $\gamma_b$    | 1,15         | 1,35            | 1,3                    |
| Laterale in compressione | $\gamma_s$    | 1,15         | 1,15            | 1,15                   |
| Totale (*)               | $\gamma$      | 1,15         | 1,30            | 1,25                   |
| Laterale in trazione     | $\gamma_{st}$ | 1,25         | 1,25            | 1,25                   |

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  o  $R_{t,k}$  è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (Tabella 4-2) alle resistenze di calcolo  $R_{cal}$ ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d’indagine rappresentative.

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Per il caso in esame si considera un coefficiente  $\xi_3 = 1.7$ .

Tabella 4-2

| Numero di verticali indagate | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥ 10 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\xi_3$                      | 1,70 | 1,65 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,40 |
| $\xi_4$                      | 1,70 | 1,55 | 1,48 | 1,42 | 1,34 | 1,28 | 1,21 |

Le verifiche allo stato limite ultimo (SLV) vengono svolte con i coefficienti parziali sulle azioni e i parametri geotecnici pari a 1 e si utilizzano i coefficienti  $\gamma_R$  riportati nella Tabella 4-1.

#### Portata a compressione

La portata di progetto di un palo trivellato  $Q_d$  è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{ll} / FS_L + Q_{bl} / FS_B - W'_p$$

dove:

$Q_{ll}$  = portata laterale limite

$Q_{bl}$  = portata di base limite

$W'_p$  = peso efficace del palo (al netto della sottospinta idraulica)\*

$FS_L$  = fattore di sicurezza per la portata laterale ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s$ )

$FS_B$  = fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b$ )

\*Nel calcolo a compressione il peso del palo è un contributo sfavorevole, in quanto è un carico che si aggiunge all'azione di progetto dalla fondazione e viene quindi fattorizzato con  $A1=1.3$ .

#### Portata a trazione

La portata di progetto di un palo trivellato  $Q_d$  è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{ll} / FS_L + W'_p$$

dove:

$Q_{ll}$  = portata laterale limite

$W'_p$  = peso efficace del palo (al netto della sottospinta idraulica)\*,

$FS_L$  = fattore di sicurezza per la portata laterale ( $=\xi_3 \cdot \gamma_t$ )

\*Nel calcolo a trazione si considera il contributo favorevole del peso del palo ( $A1=1$ ), alleggerito della sottospinta dell'acqua, quest'ultima, essendo un contributo sfavorevole, viene fattorizzata con  $A1=1.3$

#### Portata laterale limite $Q_{ll}$

Il carico limite laterale viene calcolato con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = p \times D \times S_i (\tau_i \times h_i)$$

dove:

$D$  = diametro palo

$\tau_i$  = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo

$h_i$  = altezza dello strato i-esimo.

Per i terreni incoerenti (ALL-AL, ALL-Gh, Sub-alt, E/C), la tensione tangenziale limite lungo il fusto del palo viene valutata con un criterio alle tensioni efficaci con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = k_s \times \sigma'_v \times \tan(\phi) \leq \tau_{i,max}$$

dove:

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace litostatica

$\tau_{i,max}$  = 100 kPa valore massimo dell'adesione laterale limite palo

$\phi$  = angolo di attrito del terreno

$k_s$  = coefficiente empirico assunto pari a 0.5

PROGETTAZIONE ATI:

Per il substrato roccioso (SUB) la portata limite laterale è assunta  $q_{lk}=200$  kPa.

Portata di base limite  $Q_{bl}$

Per la valutazione della portata di base limite è stata utilizzata la seguente relazione:

$$Q_{bl} = A_p \times q_{bl}$$

dove:

$A_p$  = area della base del palo

$q_{bl}$  = portata limite specifica di base

Per i terreni incoerenti, la portata limite specifica di base è stata determinata con riferimento alla seguente espressione:

$$q_{bl} = N_q \times \sigma'_v$$

il valore del coefficiente  $N_q$  adottato per i pali di grande diametro ( $D=800$  mm) è stato preso con riferimento alle curve di Berezantzev (1965) riportate nella figura seguente. È stato considerato un angolo ridotto per pali trivellati  $\phi'_{rid}=\phi'-3$ :

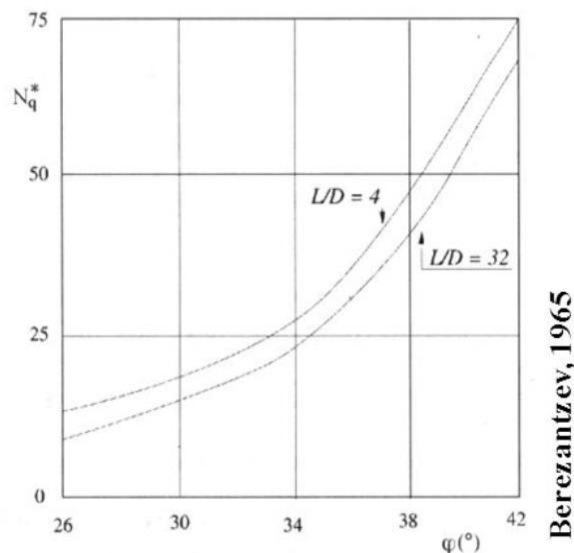


Figura 4-1 –  $N_q$  secondo Berezantzev-pali di grande diametro

La valutazione della portata laterale limite  $Q_{ll}$  e di quella di base  $Q_{lb}$  è stata effettuata mediante il software Rspile (Rocscience inc, Toronto Canada). Successivamente, mediante l'ausilio di uno specifico foglio excel, si sono determinate le curve di capacità portante considerando gli opportuni fattori di sicurezza e il peso del palo.

## 4.2. CARICO LIMITE ORIZZONTALE

Il calcolo della capacità portante orizzontale è stato condotto con il metodo proposto da Brinch-Hansen (1961), considerando lo schema di palo impedito di ruotare in testa.

Per il caso generale di un terreno coesivo ed attritivo, l'andamento della pressione limite, alla generica profondità  $z$ , risulta pari a:

$$p_u = K_q \cdot \sigma'_z + K_c \cdot c$$

dove  $\sigma'_z$  e  $c$  definiscono, rispettivamente, lo stato tensionale verticale efficace e il valore di coesione assunti dal terreno alla quota considerata e i fattori  $K_q$  e  $K_c$  dipendono dall'angolo di attrito del terreno e dal rapporto  $z/D$  ( $D$  diametro del palo).

Il coefficiente  $K_q$  è definito come:

$$K_q = \frac{K_q^0 + K_q^\infty \alpha_q \frac{z}{D}}{1 + \alpha_q \frac{z}{D}}$$

come segue:

$$K_q^0 = \left[ e^{\left(\frac{\pi}{2} + \phi\right) \tan \phi} \cos \phi \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \right] - \left[ e^{-\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \tan \phi} \cos \phi \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \right]$$

$$K_q^\infty = N_c d_c^\infty K_0 \tan \phi$$

$$\alpha_q = \frac{K_q^0 K_0 \sin \phi}{(K_q^\infty - K_q^0) \sin \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)}$$

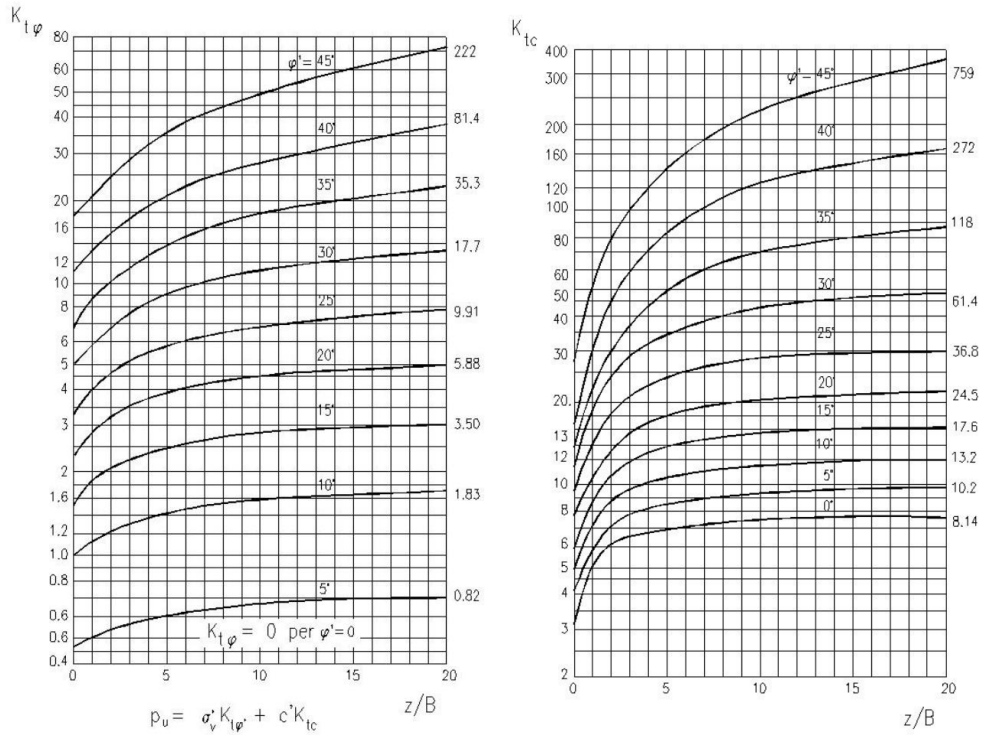
$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

$$N_c = \left[ e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) - 1 \right] \cot \phi$$

$$d_c^\infty = 1,58 + 4,09 \tan^4 \phi$$

L'andamento dei valori di  $K_q$  (così come quello di  $K_c$ , relativo a terreni coesivi) è altresì rappresentabile in forma grafica, come riportato in figura.





**Figura 4-2 – Andamento dei parametri  $K_q$  e  $K_c$  di Brinch-Hansen, 1961**

### 4.3. COMPORTAMENTO AI CARICHI TRASVERSALI DEI PALI DI FONDAZIONE

Lo studio del comportamento di un palo soggetto ai carichi orizzontali è condotto schematizzando il terreno come un mezzo alla Winkler.

L'andamento del modulo di reazione  $k_h$  è stato assunto variabile linearmente con la profondità secondo la seguente espressione di Reese e Matlock (1956):

$$k_h = n_h \cdot \frac{z}{d}$$

I valori di  $n_h$  utilizzati sono riassunti nella seguente tabella:

| Tipo di terreno                          | $n_h$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|--|----------------------------|
| Depositi eluvio colluviali E/C           | 400                        |
| Corpi di frana Cdf                       | 400                        |
| Depositi alluvionali (grossolani) ALL-Gh | 400                        |
| Depositi alluvionali (fini) ALL-AL       | 400                        |
| Substrato alterato del flysch Sub-alt    | 5000                       |
| Substrato marnoso arenaceo SUB           | 8000                       |

#### 4.4. SOLLECITAZIONI LUNGO IL FUSTO DEL PALO

Per le verifiche strutturali dei pali di fondazione, si procede con la determinazione dell'andamento delle sollecitazioni di taglio e di momento, degli spostamenti orizzontali e delle rotazioni del palo, per assegnati carichi trasversali ( $V_p$ ,  $M_p$ ) applicati in testa risolvendo la seguente equazione differenziale:

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{d^4 y}{dz^4} - E_s \cdot y = 0$$

Nell'espressione precedente, i simboli hanno i seguenti significati:

$E_p$ = modulo di Young del palo

$I_p$ = momento di inerzia del palo

$E_s$ = modulo di reazione orizzontale secante medio del terreno

$y$ = spostamento orizzontale.

L'equazione viene risolta in campo lineare mediante la teoria di Matlock & Reese (1960), che ha alla base le seguenti ipotesi:

- pali interamente immersi in un terreno omogeneo.
- pali caricati in testa da una forza orizzontale ( $V_p$ ) ed un momento flettente ( $M_p$ ).

È stato considerato un carico orizzontale unitario e la condizione di palo impedito di ruotare in testa. Sotto tali ipotesi si sono ricavate le espressioni generali di seguito riportate:

- $\delta_h = \left( \frac{V_p \cdot T^3}{E_p \cdot I_p} \right) \cdot A_y + \left( \frac{M_p \cdot T^2}{E_p \cdot I_p} \right) \cdot B_y$  spostamento orizzontale
- $\vartheta = \left( \frac{V_p \cdot T^2}{E_p \cdot I_p} \right) \cdot A_s + \left( \frac{M_p \cdot T}{E_p \cdot I_p} \right) \cdot B_s$  rotazione
- $M = (V_p \cdot T) \cdot A_m + M_p \cdot B_m$  momento flettente
- $V = V_p \cdot A_v + \frac{M_p}{T} \cdot B_v$  taglio

con il seguente significato dei simboli:

- $T = \left( \frac{E_p \cdot I_p}{E_s} \right)^{0,25}$
- A e B= coefficienti adimensionali funzione della flessibilità relativa, rappresentata dai rapporti  $L_p/T$  e  $z/T$ , essendo  $L_p$  la lunghezza del palo e  $z$  la profondità generica riferita alla testa palo.

#### 4.5. CALCOLO DEI CEDIMENTI

La valutazione della curva carico-cedimento del palo è stata effettuata con il metodo delle curve di trasferimento (t-s e q-s).

Vengono fornite le curve carico cedimento calcolate con riferimento alla teoria delle curve di trasferimento e sfruttando un metodo di calcolo di tipo iterativo. Dividendo il palo in conci di altezza uguale, si è proceduto al calcolo del cedimento del palo mediante le equazioni di equilibrio di ogni concio imponendo lo spostamento alla base del palo e controllando il delta di spostamento tra

PROGETTAZIONE ATI:

concio e terreno. In questo modo è possibile calcolare per equilibrio la coppia  $Q_{testa-w_{testa}}$  per un dato cedimento alla base  $w_b$ .

Imponendo il cedimento alla base si è utilizzato la curva di trasferimento ad essa relativa per avere il valore di portata e per la condizione di equilibrio di ogni concio è stato considerato il valore di tensione laterale in funzione dello spostamento del singolo concio. Iterando il procedimento per un numero adeguato di  $w_b$  è stato possibile ricavare la curva carico-cedimento. Il metodo tiene quindi in conto dell'effettiva mobilitazione delle resistenze nel terreno, dettate dall'effettivo spostamento considerato e dalle curve di trasferimento adottate.

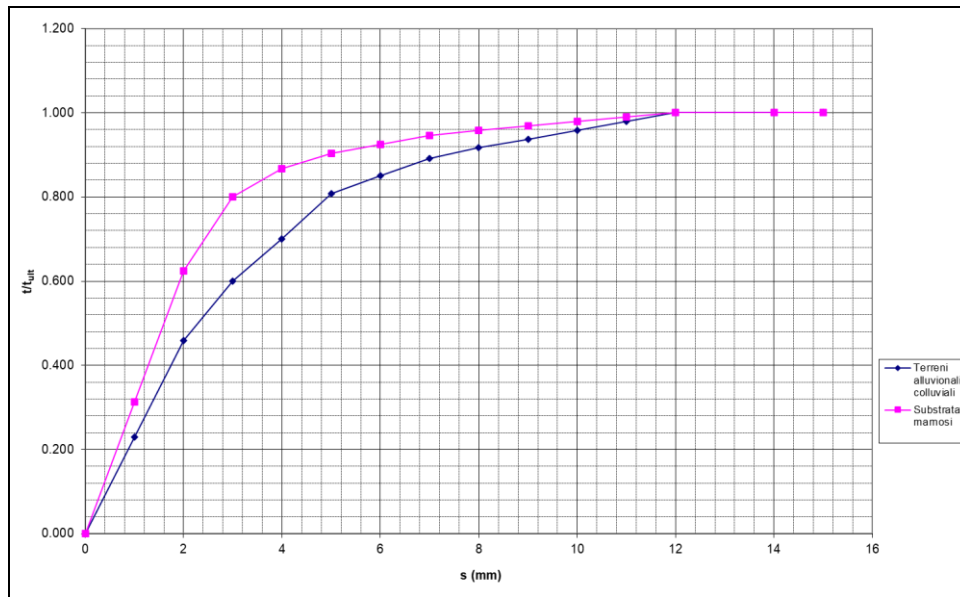


Figura 4-3 Curva di trasferimento laterale

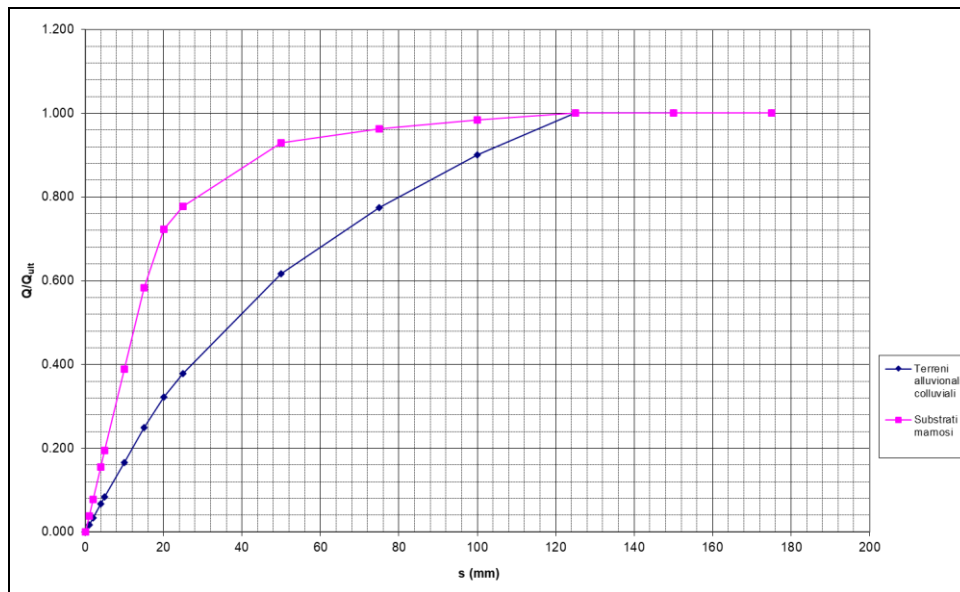


Figura 4-4 Curva di trasferimento alla base

PROGETTAZIONE ATI:

## 5. RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI

Nella seguente tabella si riporta un riepilogo della geometria e i carichi limite dei pali ottenuti. I risultati dettagliati delle analisi eseguite sono riportati nei capitoli successivi.

### Geometria

| FONDAZIONE | QUOTA [m.s.l.m] | DIAMETRO [m] | LUNGHEZZA [m] |
|------------|-----------------|--------------|---------------|
| SPALLA A   | 266.69          | 0.8          | 15            |
| SPALLA B   | 265.41          | 0.8          | 20            |

### Verifiche a compressione

| FONDAZIONE | CARICO LIMITE A COMPRESSIONE SLU[kN] | CARICO MAX DI PROGETTO A COMPRESSIONE SLU[kN] | FS compressione SLU | CARICO LIMITE A COMPRESSIONE SLV[kN] | CARICO MAX DI PROGETTO A COMPRESSIONE SLV[kN] | FS compressione SLV |
|------------|--------------------------------------|---|---------------------|--------------------------------------|---|---------------------|
| Spalla A   | 2485.18                              | 2100.7  | 1.18                | 2541.73                              | 1646.9  | 1.54                |
| Spalla B   | 2494.58                              | 2100.7  | 1.19                | 2069.98                              | 1646.9  | 1.26                |

### Verifica a trazione

| FONDAZIONE | CARICO LIMITE A TRAZIONE SLU[kN] | CARICO MAX DI PROGETTO A TRAZIONE SLU[kN] | FS trazione SLU | CARICO LIMITE A TRAZIONE SLV[kN] | CARICO MAX DI PROGETTO A TRAZIONE SLV[kN] | FS trazione SLV |
|------------|----------------------------------|---|-----------------|----------------------------------|---|-----------------|
| Spalla A   | 1928.42                          | 646.70                                    | 2.98            | 1951.04                          | 195.4                                     | 9.98            |
| Spalla B   | 2019.25                          | 646.70                                    | 3.12            | 2049.41                          | 195.4                                     | 10.49           |

### Verifica a carico trasversale

| FONDAZIONE | CARICO LIMITE ORIZZONTALE SLU-SLV [kN] | CARICO MAX DI PROGETTO ORIZZONTALE SLU-SLV[kN] | FS   |
|------------|--|--|------|
| Spalla A   | 469.14                                 | 405.9  | 1.16 |
| Spalla B   | 423.33                                 | 405.9  | 1.04 |

### Cedimenti

| FONDAZIONE | CARICO MASSIMO VERTICALE SLE[kN] | CEDIMENTO [MM] |
|------------|----------------------------------|----------------|
| SPALLA A   | 2100.7                           | 1.7            |
| SPALLA B   | 2100.7                           | 2.0            |

## 6. PONTE CERRETO SPALLA A

### Carico limite verticale

Nella seguente tabella si riporta la stratigrafia utilizzata per il calcolo della capacità portante. La stratigrafia parte da testa palo.

| Profondità [m] | Unità geotecnica | $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\phi'$ ° | $c'$ [kPa] | Nq | Q <sub>b,lim</sub> [kPa] |
|----------------|------------------|-------------------------------|-----------|------------|----|--------------------------|
| 0.0-2.3        | ALL-AL           | 19.5                          | 23        | 15         | 6  | 3000                     |
| 2.3-3.0        | ALL-Gh           | 20.5                          | 32.5      | 2.5        | 13 | 3000                     |
| 3.0-5.0        | ALL-AL           | 19.5                          | 23        | 15         | 6  | 3000                     |
| 5.0-6.0        | ALL-Gh           | 20.5                          | 32.5      | 2.5        | 13 | 3000                     |
| 6.0-7.6        | Sub-alt          | 21                            | 27.5      | 15         | 7  | 3000                     |
| >7.6           | SUB              | 23.5                          | 28.5      | 40         | -  | 3000                     |

Si sono considerati i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- $\xi_3 = 1.70$
- $FS_L =$  fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s = 2.0$ )
- $FS_{L,t} =$  fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_{st} = 2.1$ )
- $FS_B =$  fattore di sicurezza per la portata di base ( $= \xi_3 \cdot \gamma_b = 2.3$ )

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.

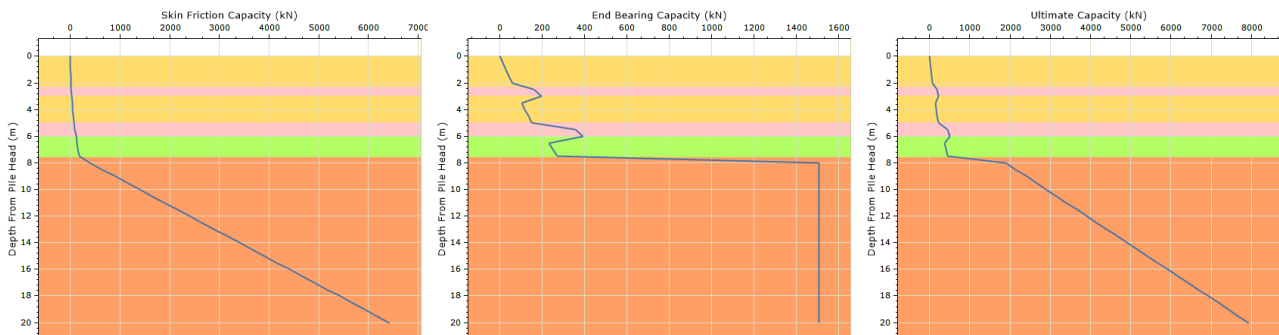


Figura 6-1 – Curve a compressione non fattorizzate

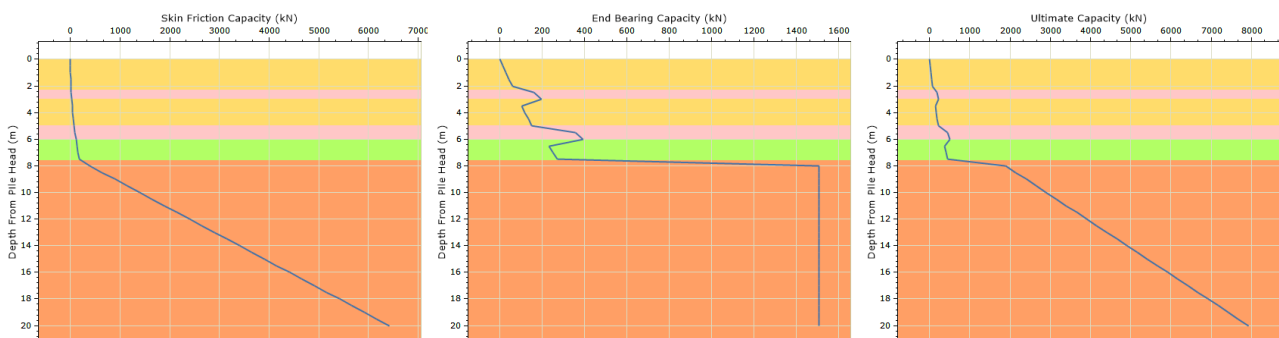


Figura 6-2 – Curve a trazione non fattorizzate

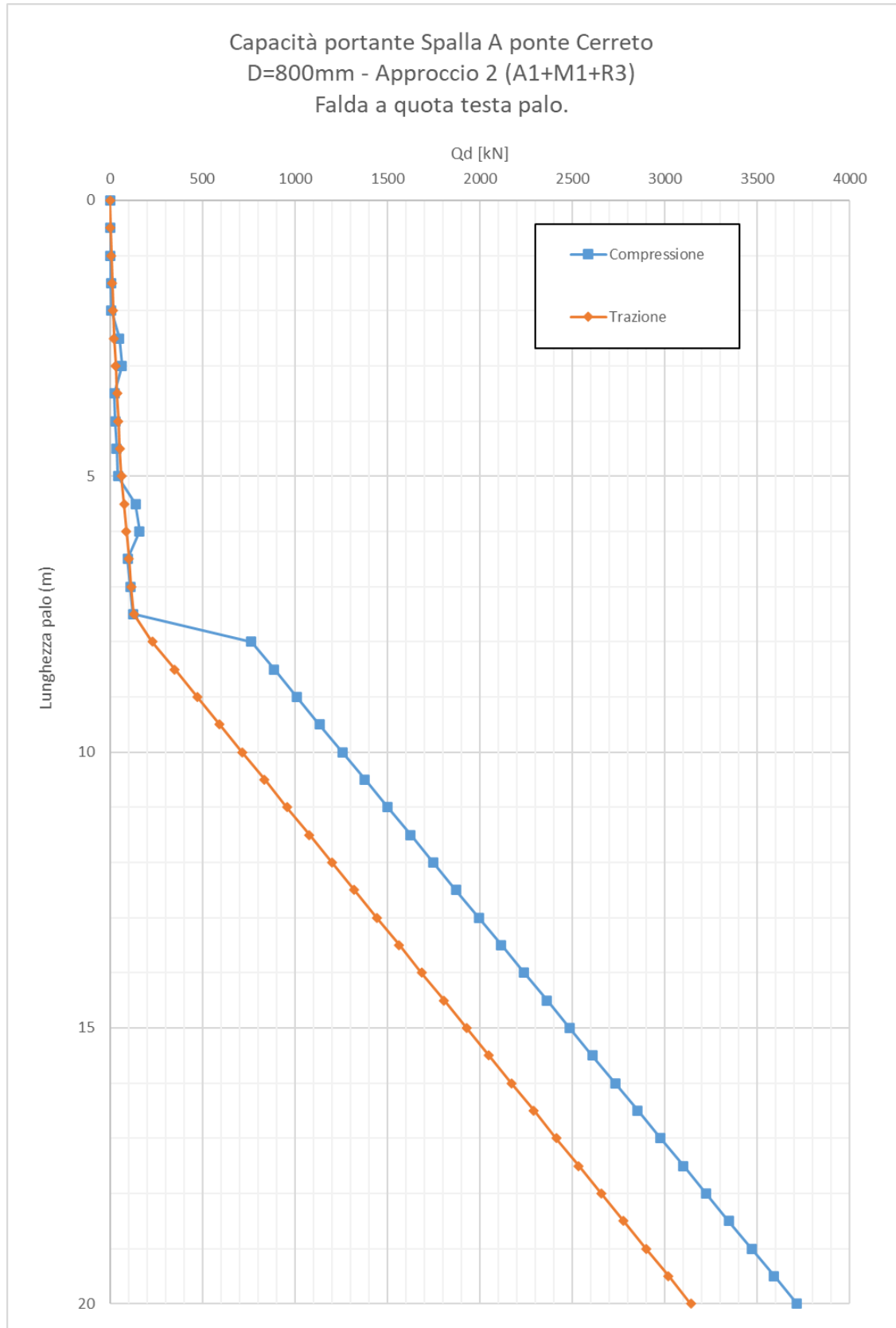
PROGETTAZIONE ATI:

Si riporta il calcolo della capacità portante in funzione della lunghezza del palo (SLU):

| Depth From Pile Head (m) | Elevation (m) | Skin Friction Capacity (kN) | End Bearing Capacity (kN) | Ultimate Capacity (kN) | FSL,c | FSL,t | FSB  | COMPRESIONE |            |         |           |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|-------------|------------|---------|-----------|
|                          |               |                             |                           |                        |       |       |      | QI/FS (kN)  | Qb/FS (kN) | Wp (kN) | Qd,c (kN) |
| 0                        | 0             | 0                           | 0                         | 0                      | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0           | 0          | 0       | 0         |
| 0.5                      | -0.5          | 0.645577893                 | 14.61217575               | 15.25775364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0.330219    | 6.3669611  | 5.65    | 1.04      |
| 1                        | -1            | 2.582314858                 | 29.2243515                | 31.80666636            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1.320877    | 12.733922  | 11.31   | 2.745066  |
| 1.5                      | -1.5          | 5.810205605                 | 43.83652725               | 49.64673286            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2.971972    | 19.100883  | 16.96   | 5.108255  |
| 2                        | -2            | 10.32926929                 | 58.448703                 | 68.7779723             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 5.283514    | 25.467844  | 22.62   | 8.13      |
| 2.5                      | -2.5          | 17.39793928                 | 159.6054732               | 177.0034125            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 8.899202    | 69.544868  | 28.27   | 50.16974  |
| 3                        | -3            | 28.23849269                 | 194.5324437               | 222.7709364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 14.4424     | 84.763592  | 33.93   | 65.27863  |
| 3.5                      | -3.5          | 36.81755462                 | 104.3963805               | 141.2139351            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 18.83251    | 45.488619  | 39.58   | 24.73706  |
| 4                        | -4            | 46.68775756                 | 119.0085563               | 165.6963138            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 23.88121    | 51.85558   | 45.24   | 30.49785  |
| 4.5                      | -4.5          | 57.84912107                 | 133.620732                | 191.4698531            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 29.59034    | 58.222541  | 50.89   | 36.91908  |
| 5                        | -5            | 70.30163444                 | 148.2329078               | 218.5345422            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 35.95992    | 64.589502  | 56.55   | 44.00075  |
| 5.5                      | -5.5          | 91.03357942                 | 356.0982706               | 447.1318501            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 46.56449    | 155.16265  | 62.20   | 139.5236  |
| 6                        | -6            | 113.9037409                 | 391.0252411               | 504.9289821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 58.26278    | 170.38137  | 67.86   | 160.7858  |
| 6.5                      | -6.5          | 134.4148845                 | 230.2385291               | 364.6534136            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 68.75442    | 100.3218   | 73.51   | 95.56295  |
| 7                        | -7            | 156.7580794                 | 249.9250053               | 406.6830847            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 80.18316    | 108.89978  | 79.17   | 109.9148  |
| 7.5                      | -7.5          | 180.9334218                 | 269.6114815               | 450.5449034            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 92.54906    | 117.47777  | 84.82   | 125.2038  |
| 8                        | -8            | 387.0494777                 | 1507.964474               | 1895.013951            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 197.9793    | 657.06513  | 90.48   | 764.5665  |
| 8.5                      | -8.5          | 638.3773424                 | 1507.964474               | 2146.341816            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 326.5357    | 657.06513  | 96.13   | 887.4681  |
| 9                        | -9            | 889.7052573                 | 1507.964474               | 2397.669731            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 455.0922    | 657.06513  | 101.79  | 1010.37   |
| 9.5                      | -9.5          | 1141.033223                 | 1507.964474               | 2648.997696            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 583.6487    | 657.06513  | 107.44  | 1133.271  |
| 10                       | -10           | 1392.360484                 | 1507.964474               | 2900.324958            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 712.2049    | 657.06513  | 113.10  | 1256.173  |
| 10.5                     | -10.5         | 1643.689042                 | 1507.964474               | 3151.653516            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 840.7617    | 657.06513  | 118.75  | 1379.075  |
| 11                       | -11           | 1895.016465                 | 1507.964474               | 3402.980938            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 969.3179    | 657.06513  | 124.41  | 1501.976  |
| 11.5                     | -11.5         | 2146.34438                  | 1507.964474               | 3654.308853            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1097.874    | 657.06513  | 130.06  | 1624.878  |
| 12                       | -12           | 2397.672345                 | 1507.964474               | 3905.636819            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1226.431    | 657.06513  | 135.72  | 1747.779  |
| 12.5                     | -12.5         | 2648.999606                 | 1507.964474               | 4156.96408             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1354.987    | 657.06513  | 141.37  | 1870.68   |
| 13                       | -13           | 2900.32818                  | 1507.964474               | 4408.292653            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1483.544    | 657.06513  | 147.03  | 1993.582  |
| 13.5                     | -13.5         | 3151.65614                  | 1507.964474               | 4659.620614            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1612.1      | 657.06513  | 152.68  | 2116.484  |
| 14                       | -14           | 3402.983552                 | 1507.964474               | 4910.948026            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1740.657    | 657.06513  | 158.34  | 2239.385  |
| 14.5                     | -14.5         | 3654.311417                 | 1507.964474               | 5162.275891            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1869.213    | 657.06513  | 163.99  | 2362.287  |
| 15                       | -15           | 3905.639181                 | 1507.964474               | 5413.603655            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1997.769    | 657.06513  | 169.65  | 2485.189  |
| 15.5                     | -15.5         | 4156.967347                 | 1507.964474               | 5664.931821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2126.326    | 657.06513  | 175.30  | 2608.09   |
| 16                       | -16           | 4408.295262                 | 1507.964474               | 5916.259736            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2254.882    | 657.06513  | 180.96  | 2730.992  |
| 16.5                     | -16.5         | 4659.622775                 | 1507.964474               | 6167.587249            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2383.439    | 657.06513  | 186.61  | 2853.893  |
| 17                       | -17           | 4910.950539                 | 1507.964474               | 6418.915013            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2511.995    | 657.06513  | 192.27  | 2976.795  |
| 17.5                     | -17.5         | 5162.278806                 | 1507.964474               | 6670.24328             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2640.552    | 657.06513  | 197.92  | 3099.697  |
| 18                       | -18           | 5413.60647                  | 1507.964474               | 6921.570943            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2769.108    | 657.06513  | 203.58  | 3222.598  |
| 18.5                     | -18.5         | 5664.934435                 | 1507.964474               | 7172.898909            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2897.665    | 657.06513  | 209.23  | 3345.5    |
| 19                       | -19           | 5916.261897                 | 1507.964474               | 7424.226371            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 3026.221    | 657.06513  | 214.88  | 3468.401  |
| 19.5                     | -19.5         | 6167.589611                 | 1507.964474               | 7675.554085            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 3154.777    | 657.06513  | 220.54  | 3591.303  |
| 20                       | -20           | 6418.917727                 | 1507.964474               | 7926.882201            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 3283.334    | 657.06513  | 226.19  | 3714.204  |

| Depth From Pile Head (m) | Elevation (m) | Skin Friction Capacity (kN) | End Bearing Capacity (kN) | Ultimate Capacity (kN) | FSL,c | FSL,t | FSB  | TRAZIONE   |          |           |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|------------|----------|-----------|
|                          |               |                             |                           |                        |       |       |      | QI/FS (kN) | Wp (kN)  | Qd,t (kN) |
| 0                        | 0             | 0                           | 0                         | 0                      | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0          | 0        | 0         |
| 0.5                      | -0.5          | 0.645577893                 | 14.61217575               | 15.25775364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0.303801   | 3.015929 | 3.31973   |
| 1                        | -1            | 2.582314858                 | 29.2243515                | 31.80666636            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1.215207   | 6.031858 | 7.247065  |
| 1.5                      | -1.5          | 5.810205605                 | 43.83652725               | 49.64673286            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2.734214   | 9.047787 | 11.782    |
| 2                        | -2            | 10.32926929                 | 58.448703                 | 68.7779723             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 4.860833   | 12.06372 | 16.92455  |
| 2.5                      | -2.5          | 17.39793928                 | 159.6054732               | 177.0034125            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 8.187266   | 15.07964 | 23.26691  |
| 3                        | -3            | 28.23849269                 | 194.5324437               | 222.7709364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 13.2887    | 18.09557 | 31.38428  |
| 3.5                      | -3.5          | 36.81755462                 | 104.3963805               | 141.2139351            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 17.32591   | 21.1115  | 38.43741  |
| 4                        | -4            | 46.68775756                 | 119.0085563               | 165.6963138            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 21.97071   | 24.12743 | 46.09814  |
| 4.5                      | -4.5          | 57.84912107                 | 133.620732                | 191.4698531            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 27.22312   | 27.14336 | 54.36648  |
| 5                        | -5            | 70.30163444                 | 148.2329078               | 218.5345422            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 33.08312   | 30.15929 | 63.24241  |
| 5.5                      | -5.5          | 91.03357942                 | 356.0982706               | 447.1318501            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 42.83933   | 33.17522 | 76.01455  |
| 6                        | -6            | 113.9037409                 | 391.0252411               | 504.9289821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 53.60176   | 36.19115 | 89.79291  |
| 6.5                      | -6.5          | 134.4148845                 | 230.2385291               | 364.6534136            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 63.25406   | 39.20708 | 102.4611  |
| 7                        | -7            | 156.7580794                 | 249.9250053               | 406.6830847            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 73.76851   | 42.22301 | 115.9915  |
| 7.5                      | -7.5          | 180.9334218                 | 269.6114815               | 450.5449034            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 85.14514   | 45.23893 | 130.3841  |
| 8                        | -8            | 387.0494777                 | 1507.964474               | 1895.013951            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 182.1409   | 48.25486 | 230.3958  |
| 8.5                      | -8.5          | 638.3773424                 | 1507.964474               | 2146.341816            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 300.4129   | 51.27079 | 351.6837  |
| 9                        | -9            | 889.7052573                 | 1507.964474               | 2397.669731            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 418.6848   | 54.28672 | 472.9715  |
| 9.5                      | -9.5          | 1141.033223                 | 1507.964474               | 2648.997696            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 536.9568   | 57.30265 | 594.2595  |
| 10                       | -10           | 1392.360484                 | 1507.964474               | 2900.324958            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 655.2285   | 60.31858 | 715.547   |
| 10.5                     | -10.5         | 1643.689042                 | 1507.964474               | 3151.653516            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 773.5007   | 63.33451 | 836.8352  |
| 11                       | -11           | 1895.016465                 | 1507.964474               | 3402.980938            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 891.7725   | 66.35044 | 958.1229  |
| 11.5                     | -11.5         | 2146.34438                  | 1507.964474               | 3654.308853            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1010.044   | 69.36637 | 1079.411  |
| 12                       | -12           | 2397.672345                 | 1507.964474               | 3905.636819            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1128.316   | 72.38229 | 1200.699  |
| 12.5                     | -12.5         | 2648.999606                 | 1507.964474               | 4156.96408             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1246.588   | 75.39822 | 1321.986  |
| 13                       | -13           | 2900.32818                  | 1507.964474               | 4408.292653            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1364.86    | 78.41415 | 1443.274  |
| 13.5                     | -13.5         | 3151.65614                  | 1507.964474               | 4659.620614            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1483.132   | 81.43008 | 1564.562  |
| 14                       | -14           | 3402.983552                 | 1507.964474               | 4910.948026            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1601.404   | 84.44601 | 1685.85   |
| 14.5                     | -14.5         | 3654.311417                 | 1507.964474               | 5162.275891            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1719.676   | 87.46194 | 1807.138  |
| 15                       | -15           | 3905.639181                 | 1507.964474               | 5413.603655            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1837.948   | 90.47787 | 1928.426  |
| 15.5                     | -15.5         | 4156.967347                 | 1507.964474               | 5664.931821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1956.22    | 93.4938  | 2049.714  |
| 16                       | -16           | 4408.295262                 | 1507.964474               | 5916.259736            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2074.492   | 96.50973 | 2171.002  |
| 16.5                     | -16.5         | 4659.622775                 | 1507.964474               | 6167.587249            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2192.764   | 99.52566 | 2292.289  |
| 17                       | -17           | 4910.950539                 | 1507.964474               | 6418.915013            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2311.036   | 102.5416 | 2413.577  |
| 17.5                     | -17.5         | 5162.278806                 | 1507.964474               | 6670.24328             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2429.308   | 105.5575 | 2534.865  |
| 18                       | -18           | 5413.60647                  | 1507.964474               | 6921.570943            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2547.58    | 108.5734 | 2656.153  |
| 18.5                     | -18.5         | 5664.934435                 | 1507.964474               | 7172.898909            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2665.851   | 111.5894 | 2777.441  |
| 19                       | -19           | 5916.261897                 | 1507.964474               | 7424.226371            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2784.123   | 114.6053 | 2898.729  |
| 19.5                     | -19.5         | 6167.589611                 | 1507.964474               | 7675.554085            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2902.395   | 117.6212 | 3020.016  |
| 20                       | -20           | 6418.917727                 | 1507.964474               | 7926.882201            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 3020.667   | 120.6372 | 3141.304  |

PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

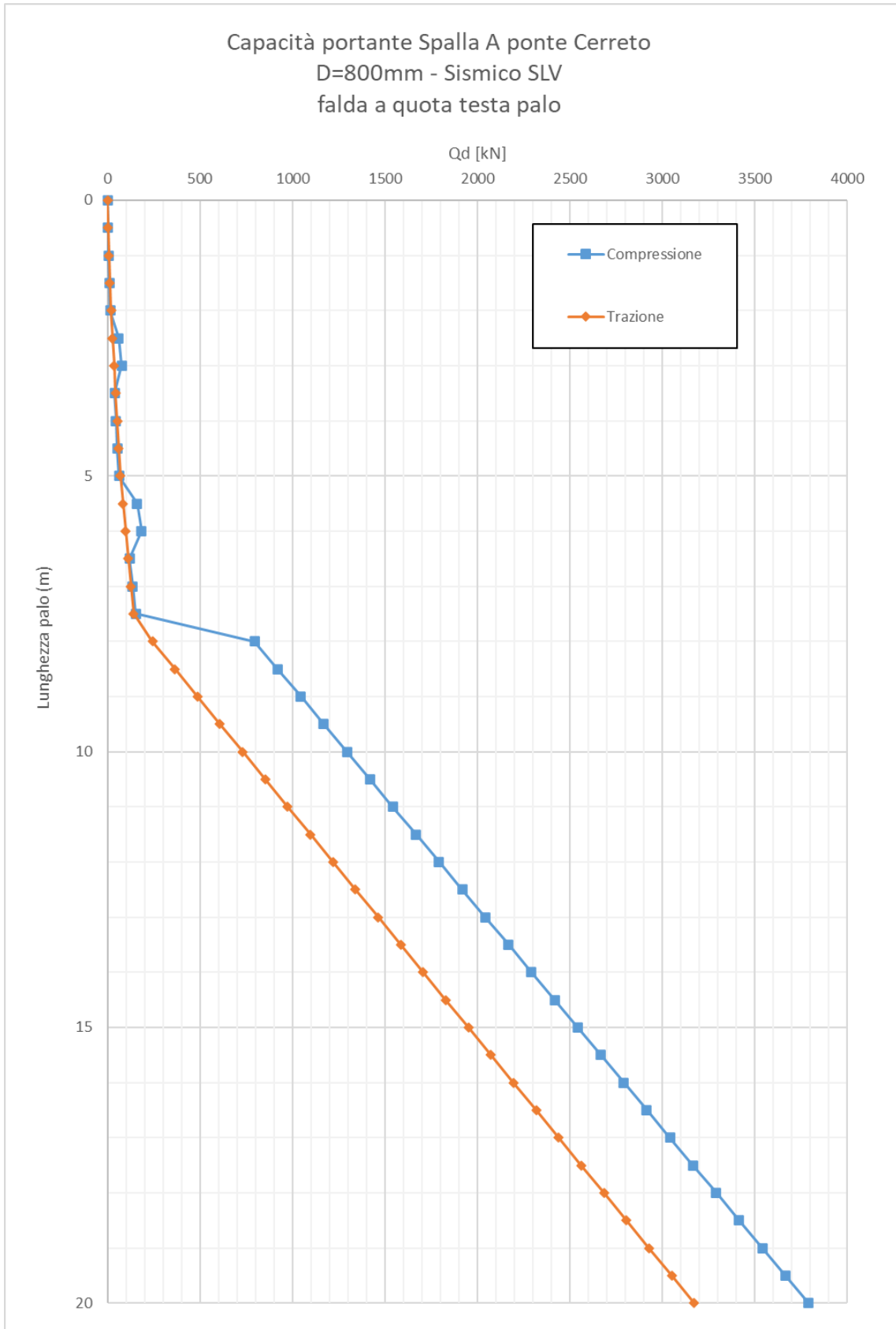


Si riporta il calcolo della capacità portante in funzione della lunghezza del palo (SLV):

| Depth From Pile Head (m) | Elevation (m) | Skin Friction Capacity (kN) | End Bearing Capacity (kN) | Ultimate Capacity (kN) | FSL,c | FSL,t | FSB  | COMPRESSIONE |            |         |                 |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|--------------|------------|---------|-----------------|
|                          |               |                             |                           |                        |       |       |      | Ql/FS (kN)   | Qb/FS (kN) | Wp (kN) | Qd,c (kN)       |
| 0                        | 0             | 0                           | 0                         | 0                      | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0            | 0          | 0       | 0               |
| 0.5                      | -0.5          | 0.645577893                 | 14.61217575               | 15.25775364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0.330219     | 6.3669611  | 3.77    | <b>2.93</b>     |
| 1                        | -1            | 2.582314858                 | 29.2243515                | 31.80666636            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1.320877     | 12.733922  | 7.54    | <b>6.514977</b> |
| 1.5                      | -1.5          | 5.810205605                 | 43.83652725               | 49.64673286            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2.971972     | 19.100883  | 11.31   | <b>10.76312</b> |
| 2                        | -2            | 10.32926929                 | 58.448703                 | 68.7779723             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 5.283514     | 25.467844  | 15.08   | <b>15.67</b>    |
| 2.5                      | -2.5          | 17.39793928                 | 159.6054732               | 177.0034125            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 8.899202     | 69.544868  | 18.85   | <b>59.59451</b> |
| 3                        | -3            | 28.23849269                 | 194.5324437               | 222.7709364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 14.44424     | 84.763592  | 22.62   | <b>76.58837</b> |
| 3.5                      | -3.5          | 36.81755462                 | 104.3963805               | 141.2139351            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 18.83251     | 45.488619  | 26.39   | <b>37.93175</b> |
| 4                        | -4            | 46.68775756                 | 119.0085563               | 165.6963138            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 23.88121     | 51.85558   | 30.16   | <b>45.5775</b>  |
| 4.5                      | -4.5          | 57.84912107                 | 133.620732                | 191.4698531            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 29.59034     | 58.222541  | 33.93   | <b>53.88368</b> |
| 5                        | -5            | 70.30163444                 | 148.2329078               | 218.5345422            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 35.95992     | 64.589502  | 37.70   | <b>62.85031</b> |
| 5.5                      | -5.5          | 91.03357942                 | 356.0982706               | 447.1318501            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 46.56449     | 155.16265  | 41.47   | <b>160.2581</b> |
| 6                        | -6            | 113.9037409                 | 391.0252411               | 504.9289821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 58.26278     | 170.38137  | 45.24   | <b>183.4052</b> |
| 6.5                      | -6.5          | 134.4148845                 | 230.2385291               | 364.6534136            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 68.75442     | 100.3218   | 49.01   | <b>120.0674</b> |
| 7                        | -7            | 156.7580794                 | 249.9250053               | 406.6830847            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 80.18316     | 108.89978  | 52.78   | <b>136.3042</b> |
| 7.5                      | -7.5          | 180.9334218                 | 269.6114815               | 450.5449034            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 92.54906     | 117.47777  | 56.55   | <b>153.4782</b> |
| 8                        | -8            | 387.0494777                 | 1507.964474               | 1895.013951            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 197.9793     | 657.06513  | 60.32   | <b>794.7258</b> |
| 8.5                      | -8.5          | 638.3773424                 | 1507.964474               | 2146.341816            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 326.5357     | 657.06513  | 64.09   | <b>919.5124</b> |
| 9                        | -9            | 889.7052573                 | 1507.964474               | 2397.669731            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 455.0922     | 657.06513  | 67.86   | <b>1044.299</b> |
| 9.5                      | -9.5          | 1141.033223                 | 1507.964474               | 2648.997696            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 583.6487     | 657.06513  | 71.63   | <b>1169.086</b> |
| 10                       | -10           | 1392.360484                 | 1507.964474               | 2900.324958            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 712.2049     | 657.06513  | 75.40   | <b>1293.872</b> |
| 10.5                     | -10.5         | 1643.689042                 | 1507.964474               | 3151.653516            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 840.7617     | 657.06513  | 79.17   | <b>1418.659</b> |
| 11                       | -11           | 1895.016465                 | 1507.964474               | 3402.980938            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 969.3179     | 657.06513  | 82.94   | <b>1543.445</b> |
| 11.5                     | -11.5         | 2146.34438                  | 1507.964474               | 3654.308853            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1097.874     | 657.06513  | 86.71   | <b>1668.232</b> |
| 12                       | -12           | 2397.672345                 | 1507.964474               | 3905.636819            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1226.431     | 657.06513  | 90.48   | <b>1793.018</b> |
| 12.5                     | -12.5         | 2648.999606                 | 1507.964474               | 4156.96408             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1354.987     | 657.06513  | 94.25   | <b>1917.804</b> |
| 13                       | -13           | 2900.32818                  | 1507.964474               | 4408.292653            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1483.544     | 657.06513  | 98.02   | <b>2042.591</b> |
| 13.5                     | -13.5         | 3151.65614                  | 1507.964474               | 4659.620614            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1612.1       | 657.06513  | 101.79  | <b>2167.378</b> |
| 14                       | -14           | 3402.983552                 | 1507.964474               | 4910.948026            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1740.657     | 657.06513  | 105.56  | <b>2292.164</b> |
| 14.5                     | -14.5         | 3654.311417                 | 1507.964474               | 5162.275891            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1869.213     | 657.06513  | 109.33  | <b>2416.951</b> |
| 15                       | -15           | 3905.639181                 | 1507.964474               | 5413.603655            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1997.769     | 657.06513  | 113.10  | <b>2541.737</b> |
| 15.5                     | -15.5         | 4156.967347                 | 1507.964474               | 5664.931821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2126.326     | 657.06513  | 116.87  | <b>2666.524</b> |
| 16                       | -16           | 4408.295262                 | 1507.964474               | 5916.259736            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2254.882     | 657.06513  | 120.64  | <b>2791.31</b>  |
| 16.5                     | -16.5         | 4659.622775                 | 1507.964474               | 6167.587249            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2383.439     | 657.06513  | 124.41  | <b>2916.097</b> |
| 17                       | -17           | 4910.950539                 | 1507.964474               | 6418.915013            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2511.995     | 657.06513  | 128.18  | <b>3040.883</b> |
| 17.5                     | -17.5         | 5162.278806                 | 1507.964474               | 6670.24328             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2640.552     | 657.06513  | 131.95  | <b>3165.67</b>  |
| 18                       | -18           | 5413.60647                  | 1507.964474               | 6921.570943            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2769.108     | 657.06513  | 135.72  | <b>3290.456</b> |
| 18.5                     | -18.5         | 5664.934435                 | 1507.964474               | 7172.898909            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2897.665     | 657.06513  | 139.49  | <b>3415.243</b> |
| 19                       | -19           | 5916.261897                 | 1507.964474               | 7424.226371            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 3026.221     | 657.06513  | 143.26  | <b>3540.029</b> |
| 19.5                     | -19.5         | 6167.589611                 | 1507.964474               | 7675.554085            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 3154.777     | 657.06513  | 147.03  | <b>3664.816</b> |
| 20                       | -20           | 6418.917727                 | 1507.964474               | 7926.882201            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 3283.334     | 657.06513  | 150.80  | <b>3789.603</b> |

| Depth From Pile Head (m) | Elevation (m) | Skin Friction Capacity (kN) | End Bearing Capacity (kN) | Ultimate Capacity (kN) | FSL,c | FSL,t | FSB  | TRAZIONE   |            |         |                 |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|------------|------------|---------|-----------------|
|                          |               |                             |                           |                        |       |       |      | Ql/FS (kN) | Qb/FS (kN) | Wp (kN) | Qd,t (kN)       |
| 0                        | 0             | 0                           | 0                         | 0                      | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0          | 0          | 0       | 0               |
| 0.5                      | -0.5          | 0.645577893                 | 14.61217575               | 15.25775364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0.303801   | 3.769911   | 3.77    | <b>4.073713</b> |
| 1                        | -1            | 2.582314858                 | 29.2243515                | 31.80666636            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1.215207   | 7.539822   | 7.54    | <b>8.755029</b> |
| 1.5                      | -1.5          | 5.810205605                 | 43.83652725               | 49.64673286            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2.734214   | 11.30973   | 11.31   | <b>14.04395</b> |
| 2                        | -2            | 10.32926929                 | 58.448703                 | 68.7779723             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 4.860833   | 15.07964   | 15.08   | <b>19.94048</b> |
| 2.5                      | -2.5          | 17.39793928                 | 159.6054732               | 177.0034125            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 8.187266   | 18.84956   | 18.85   | <b>27.03682</b> |
| 3                        | -3            | 28.23849269                 | 194.5324437               | 222.7709364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 13.2887    | 22.61947   | 22.62   | <b>35.90817</b> |
| 3.5                      | -3.5          | 36.81755462                 | 104.3963805               | 141.2139351            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 17.32591   | 26.38938   | 26.39   | <b>43.71529</b> |
| 4                        | -4            | 46.68775756                 | 119.0085563               | 165.6963138            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 21.97071   | 30.15929   | 30.16   | <b>52.13</b>    |
| 4.5                      | -4.5          | 57.84912107                 | 133.620732                | 191.4698531            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 27.22312   | 33.9292    | 33.93   | <b>61.15232</b> |
| 5                        | -5            | 70.30163444                 | 148.2329078               | 218.5345422            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 33.08312   | 37.69911   | 37.70   | <b>70.78223</b> |
| 5.5                      | -5.5          | 91.03357942                 | 356.0982706               | 447.1318501            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 42.83933   | 41.46902   | 41.47   | <b>84.30835</b> |
| 6                        | -6            | 113.9037409                 | 391.0252411               | 504.9289821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 53.60176   | 45.23893   | 45.24   | <b>98.84069</b> |
| 6.5                      | -6.5          | 134.4148845                 | 230.2385291               | 364.6534136            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 63.25406   | 49.00885   | 49.01   | <b>112.2629</b> |
| 7                        | -7            | 156.7580794                 | 249.9250053               | 406.6830847            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 73.76851   | 52.77876   | 52.78   | <b>126.5473</b> |
| 7.5                      | -7.5          | 180.9334218                 | 269.6114815               | 450.5449034            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 85.14514   | 56.54867   | 56.55   | <b>141.6938</b> |
| 8                        | -8            | 387.0494777                 | 1507.964474               | 1895.013951            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 182.1409   | 60.31858   | 60.32   | <b>242.4595</b> |
| 8.5                      | -8.5          | 638.3773424                 | 1507.964474               | 2146.341816            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 300.4129   | 64.08849   | 64.09   | <b>364.5014</b> |
| 9                        | -9            | 889.7052573                 | 1507.964474               | 2397.669731            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 418.6848   | 67.8584    | 67.86   | <b>486.5432</b> |
| 9.5                      | -9.5          | 1141.033223                 | 1507.964474               | 2648.997696            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 536.9568   | 71.62831   | 71.63   | <b>608.5851</b> |
| 10                       | -10           | 1392.360484                 | 1507.964474               | 2900.324958            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 655.2285   | 75.39822   | 75.40   | <b>730.6267</b> |
| 10.5                     | -10.5         | 1643.689042                 | 1507.964474               | 3151.653516            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 773.5007   | 79.16813   | 79.17   | <b>852.6689</b> |
| 11                       | -11           | 1895.016465                 | 1507.964474               | 3402.980938            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 891.7725   | 82.93805   | 82.94   | <b>974.7105</b> |
| 11.5                     | -11.5         | 2146.34438                  | 1507.964474               | 3654.308853            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1010.044   | 86.70796   | 86.71   | <b>1096.752</b> |
| 12                       | -12           | 2397.672345                 | 1507.964474               | 3905.636819            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1128.316   | 90.47787   | 90.48   | <b>1218.794</b> |
| 12.5                     | -12.5         | 2648.999606                 | 1507.964474               | 4156.96408             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1246.588   | 94.24778   | 94.25   | <b>1340.836</b> |
| 13                       | -13           | 2900.32818                  | 1507.964474               | 4408.292653            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1364.86    | 98.01769   | 98.02   | <b>1462.878</b> |
| 13.5                     | -13.5         | 3151.65614                  | 1507.964474               | 4659.620614            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1483.132   | 101.7876   | 101.79  | <b>1584.92</b>  |
| 14                       | -14           | 3402.983552                 | 1507.964474               | 4910.948026            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1601.404   | 105.5575   | 105.56  | <b>1706.962</b> |
| 14.5                     | -14.5         | 3654.311417                 | 1507.964474               | 5162.275891            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1719.676   | 109.3274   | 109.33  | <b>1829.003</b> |
| 15                       | -15           | 3905.639181                 | 1507.964474               | 5413.603655            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1837.948   | 113.0973   | 113.10  | <b>1951.045</b> |
| 15.5                     | -15.5         | 4156.967347                 | 1507.964474               | 5664.931821            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1956.22    | 116.8672   | 116.87  | <b>2073.087</b> |
| 16                       | -16           | 4408.295262                 | 1507.964474               | 5916.259736            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2074.492   | 120.6372   | 120.64  | <b>2195.129</b> |
| 16.5                     | -16.5         | 4659.622775                 | 1507.964474               | 6167.587249            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2192.764   | 124.4071   | 124.41  | <b>2317.171</b> |
| 17                       | -17           | 4910.950539                 | 1507.964474               | 6418.915013            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2311.036   | 128.177    | 128.18  | <b>2439.213</b> |
| 17.5                     | -17.5         | 5162.278806                 | 1507.964474               | 6670.24328             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2429.308   | 131.9469   | 131.95  | <b>2561.255</b> |
| 18                       | -18           | 5413.60647                  | 1507.964474               | 6921.570943            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2547.58    | 135.7168   | 135.72  | <b>2683.296</b> |
| 18.5                     | -18.5         | 5664.934435                 | 1507.964474               | 7172.898909            | 1.955 | 2.13  | 2    |            |            |         |                 |





PROGETTAZIONE ATI:

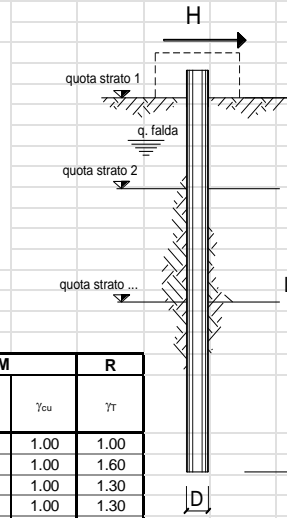
Carico limite orizzontale

Per il calcolo del momento plastico si è fatto riferimento all'armatura registrata nella specifica relazione di calcolo delle strutture. La armatura è costituita da 20φ32.

$M_{plas} = 1350 \text{ kNm}$

**Carico limite orizzontale di un palo singolo impedito di ruotare in testa in accordo alla teoria di Brinch-Hansen**

**Teoria:** Si ipotizza che la rottura del sistema palo-terreno possa avvenire seguendo 3 meccanismi di rottura diversi: 1) meccanismo di palo corto; 2) meccanismo di palo intermedio; 3) meccanismo di palo lungo. Il meccanismo di rottura che si sviluppa dipende dal momento ultimo della sezione del palo, della lunghezza del palo e dalle pressioni limite nette che si sviluppano lungo il fusto. La pressione limite netta, per un mezzo dotato di coesione e attrito, è espressa come  $\sigma_{lim} = K_c \cdot \sigma_{v0}' + K_c \cdot c$ . La forza limite orizzontale per unità di lunghezza del palo è pari a  $\sigma_{lim} \cdot D$ , dove D è il diametro del palo. Per maggiori informazioni si rimanda all'articolo di Brinch Hansen (1961).



**Input:**

| coefficienti parziali    |          | A                        |                         | M               |               | R          |
|--------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|-----------------|---------------|------------|
| Metodo di calcolo        |          | permanenti<br>$\gamma_G$ | variabili<br>$\gamma_Q$ | $\gamma_{\phi}$ | $\gamma_{cu}$ | $\gamma_T$ |
| SLU                      | A1+M1+R1 | ○                        | 1.30                    | 1.50            | 1.00          | 1.00       |
|                          | A2+M1+R2 | ○                        | 1.00                    | 1.30            | 1.00          | 1.00       |
|                          | A1+M1+R3 | ○                        | 1.30                    | 1.50            | 1.00          | 1.30       |
|                          | SISMA    | ○                        | 1.00                    | 1.00            | 1.00          | 1.00       |
| DMB8                     |          | ○                        | 1.00                    | 1.00            | 1.00          | 1.00       |
| definiti dal progettista |          | ●                        | 1.00                    | 1.00            | 1.00          | 2.00       |

| n       | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 7    | ≥10  | T.A. | prog. |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00  |
| $\xi_4$ | 1.70 | 1.55 | 1.48 | 1.42 | 1.34 | 1.28 | 1.21 | 1.00 | 1.00  |

| strati terreno                      | descrizione | Quota [m] | $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ] | Parametri medi |         | Parametri minimi |         |
|-------------------------------------|-------------|-----------|-------------------------------|----------------|---------|------------------|---------|
|                                     |             |           |                               | $\phi$ [°]     | c [kPa] | $\phi$ [°]       | c [kPa] |
| <input type="checkbox"/>            | strato 1    | ALL-AL    | 100.00                        | 19.5           | 23      | 15               | 23      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | strato 2    | ALL-Gh    | 97.70                         | 20.5           | 32.5    | 2.5              | 32.5    |
| <input checked="" type="checkbox"/> | strato 3    | ALL-AL    | 97.00                         | 19.5           | 23      | 15               | 23      |
| <input type="checkbox"/>            | strato 4    | ALL-Gh    | 95.00                         | 20.5           | 32.5    | 2.5              | 32.5    |
| <input type="checkbox"/>            | strato 5    | sub-alt   | 94.00                         | 21             | 27.5    | 15               | 27.5    |
| <input type="checkbox"/>            | strato 6    | SUb       | 92.40                         | 23.5           | 28.5    | 40               | 28.5    |

$z_w$  100 [m] Quota falda

$q$  0 [kPa] Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni)

$M_u$  1350 [kNm] Momento ultimo della sezione

$D$  0.8 [m] Diametro del palo

$L$  20 [m] Lunghezza del palo

**Risultati:**

|   | H medio    |            | H minimo    |                        |
|---|------------|------------|-------------|------------------------|
| Palo lungo                                    | 1037 (kN)  |            | 1037 (kN)   |                        |
| Palo intermedio                               | 5210 (kN)  |            | 5210 (kN)   |                        |
| Palo corto                                    | 14120 (kN) |            | 14120 (kN)  |                        |
| $H_{med}$                                     | 1037 (kN)  | Palo lungo | $H_{min}$   | 1037.5 (kN) Palo lungo |
| $H_k = \min(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$   |            |            | 610.27 (kN) |                        |
| $H_d = H_k/\gamma_T$                          |            |            | 469.44 (kN) |                        |
| Carico Assiale Permanente (G):                | G =        | 1 (kN)     |             |                        |
| Carico Assiale variabile (Q):                 | Q =        | 0 (kN)     |             |                        |
| $F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =$ |            |            | 1.00 (kN)   |                        |
| $FS = H_d / F_d =$                            |            |            | 469.44      |                        |

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

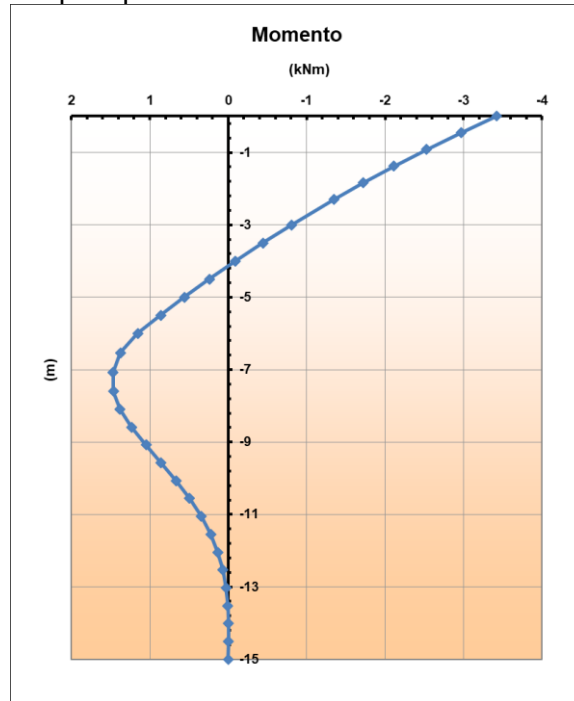


Figura 6-3 – Momento flettente agente per carico unitario

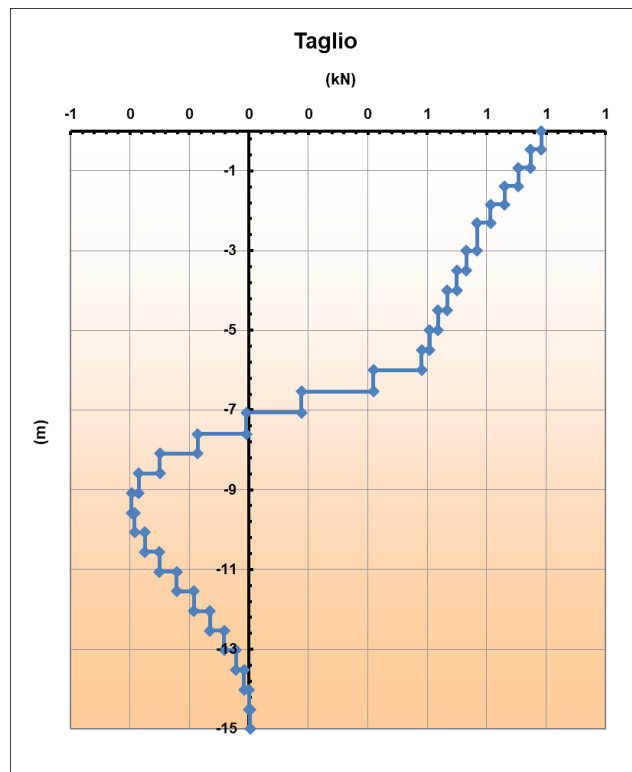


Figura 6-4 – Taglio agente per carico unitario

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

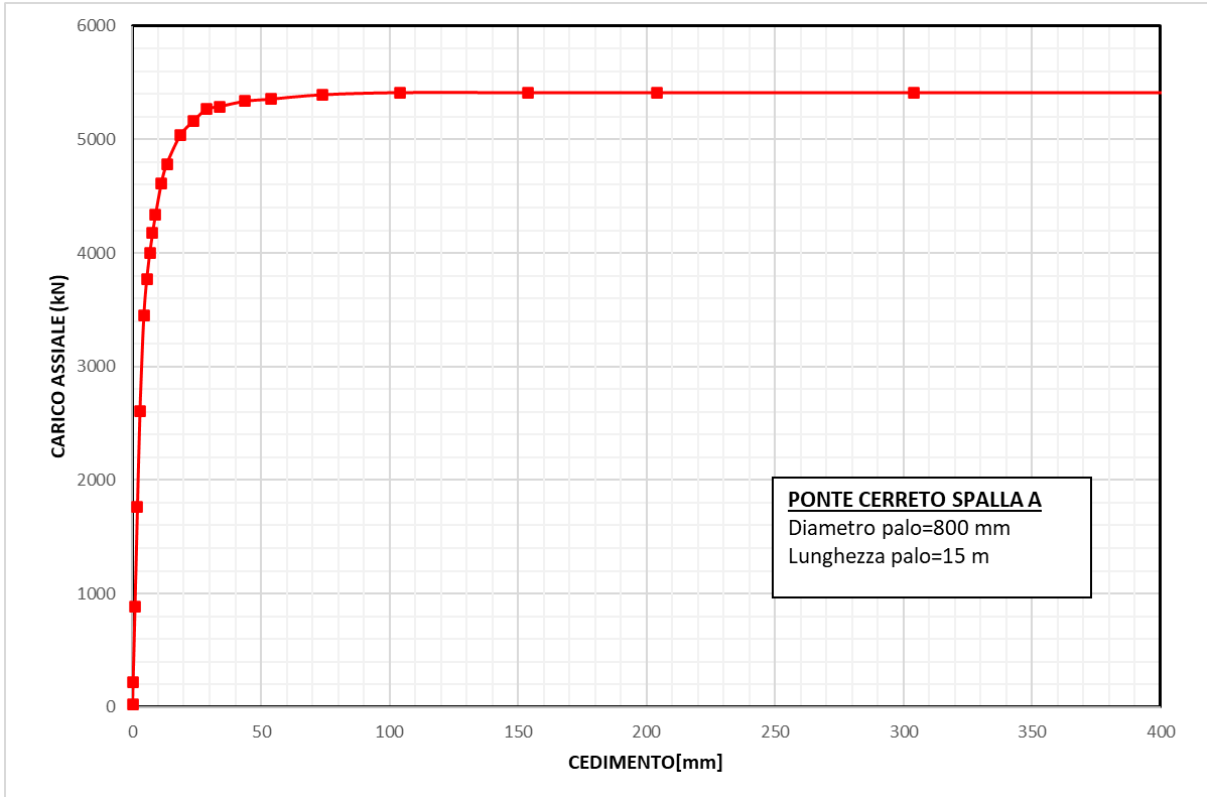


Figura 6-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 7. PONTE CERRETO SPALLA B

Nella seguente tabella si riporta la stratigrafia utilizzata per il calcolo della capacità portante. La stratigrafia parte da testa palo.

| Profondità [m] | Unità geotecnica | $\gamma$ kN/m <sup>3</sup> | $\phi'$ ° | c' kPa | Nq | Q <sub>b,lim</sub> [kPa] |
|----------------|------------------|----------------------------|-----------|--------|----|--------------------------|
| 0-10.6         | ALL-Gh           | 20.5                       | 32.5      | 2.5    | 13 | 3000                     |
| 10.6-13.4      | Sub-alt          | 21                         | 27.5      | 15     | 7  | 3000                     |
| >13.4          | SUB              | 23.5                       | 28.5      | 40     | -  | 3000                     |

La capacità portante per le fondazioni è stata valutata per pali di medio diametro D=450 mm considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- $\xi_3 = 1.70$
- $FS_L =$  fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_s = 2.0$ )
- $FS_{L,t} =$  fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione ( $=\xi_3 \cdot \gamma_{st} = 2.1$ )
- $FS_B =$  fattore di sicurezza per la portata di base ( $=\xi_3 \cdot \gamma_b = 2.3$ )

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.



Figura 7-1 – Curve a compressione non fattorizzate

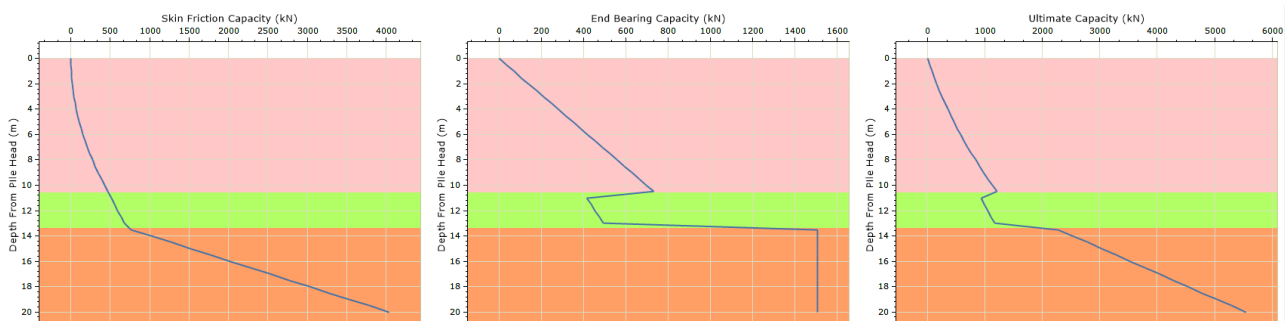


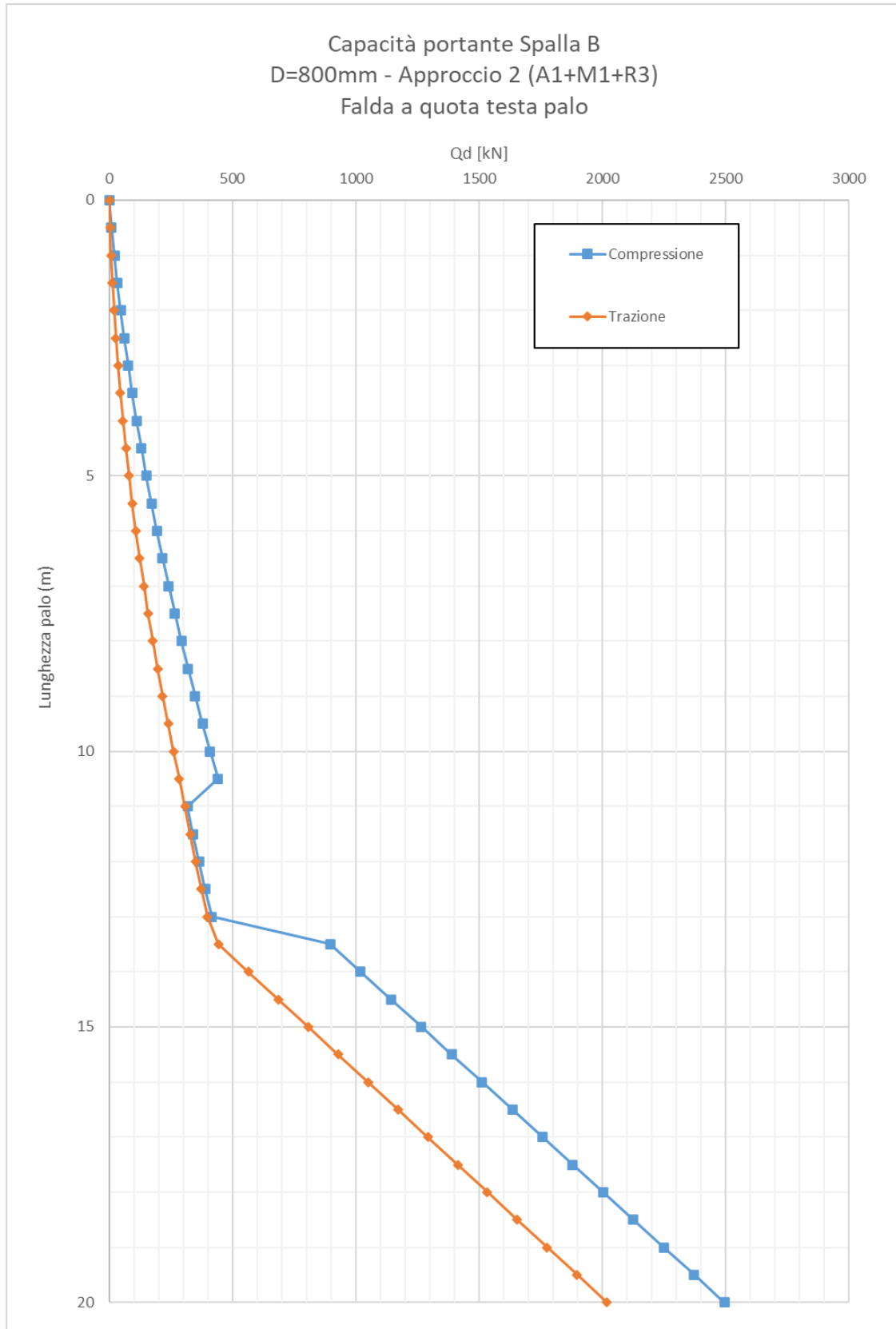
Figura 7-2 – Curve a trazione non fattorizzate

PROGETTAZIONE ATI:

Si riporta il calcolo della capacità portante in funzione della lunghezza del palo(SLU):

| Depth From Pile Head (m) | Elevation (m) | Skin Friction Capacity (kN) | End Bearing Capacity (kN) | Ultimate Capacity (kN) | FSL,c | FSL,t | FSB  | COMPRESSIONE |            |         |           |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|--------------|------------|---------|-----------|
|                          |               |                             |                           |                        |       |       |      | QI/FS (kN)   | Qb/FS (kN) | Wp (kN) | Qd,c (kN) |
| 0                        | 0             | 0                           | 0                         | 0                      | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0            | 0          | 0       | 0         |
| 0.5                      | -0.5          | 1.069149466                 | 34.92697049               | 35.99611995            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0.54688      | 15.218724  | 5.65    | 10.11     |
| 1                        | -1            | 4.276592742                 | 69.85394097               | 74.13053371            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2.187515     | 30.437447  | 11.31   | 21.31523  |
| 1.5                      | -1.5          | 9.62232676                  | 104.7809115               | 114.4032382            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 4.921906     | 45.656171  | 16.96   | 33.61348  |
| 2                        | -2            | 17.10637588                 | 139.7078819               | 156.8142578            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 8.750064     | 60.874894  | 22.62   | 47.01     |
| 2.5                      | -2.5          | 26.72871806                 | 174.6348524               | 201.3635705            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 13.67198     | 76.093618  | 28.27   | 61.49126  |
| 3                        | -3            | 38.48936479                 | 209.5618229               | 248.0511877            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 19.68765     | 91.312341  | 33.93   | 77.0708   |
| 3.5                      | -3.5          | 52.3883072                  | 244.4887934               | 296.8771006            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 26.79709     | 106.53106  | 39.58   | 93.74409  |
| 4                        | -4            | 68.42549504                 | 279.4157639               | 347.8412589            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 35.00025     | 121.74979  | 45.24   | 111.5111  |
| 4.5                      | -4.5          | 86.6010377                  | 314.3427344               | 400.9437721            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 44.29721     | 136.96851  | 50.89   | 130.3719  |
| 5                        | -5            | 106.914856                  | 349.2697049               | 456.1845609            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 54.68791     | 152.18724  | 56.55   | 150.3265  |
| 5.5                      | -5.5          | 129.3669527                 | 384.1966753               | 513.563628             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 66.17235     | 167.40596  | 62.20   | 171.3748  |
| 6                        | -6            | 153.9573676                 | 419.1236458               | 573.0810134            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 78.75057     | 182.62468  | 67.86   | 193.5169  |
| 6.5                      | -6.5          | 180.6860534                 | 454.0506163               | 634.7366697            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 92.42253     | 197.84341  | 73.51   | 216.7527  |
| 7                        | -7            | 209.5530751                 | 488.9775868               | 698.5306619            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 107.1883     | 213.06213  | 79.17   | 241.0823  |
| 7.5                      | -7.5          | 240.5583365                 | 523.9045573               | 764.4628938            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 123.0477     | 228.28085  | 84.82   | 266.5056  |
| 8                        | -8            | 273.7019477                 | 558.8315278               | 832.5334754            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 140.001      | 243.49958  | 90.48   | 293.0227  |
| 8.5                      | -8.5          | 308.9838684                 | 593.7584983               | 902.7423666            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 158.048      | 258.7183   | 96.13   | 320.6336  |
| 9                        | -9            | 346.4040987                 | 628.6854687               | 975.0895675            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 177.1888     | 273.93702  | 101.79  | 349.3382  |
| 9.5                      | -9.5          | 385.9625598                 | 663.6124392               | 1049.574999            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 197.4233     | 289.15575  | 107.44  | 379.1366  |
| 10                       | -10           | 427.6593561                 | 698.5394097               | 1126.198766            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 218.7516     | 304.37447  | 113.10  | 410.0287  |
| 10.5                     | -10.5         | 471.4944106                 | 733.4663802               | 1204.960791            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 241.1736     | 319.59319  | 118.75  | 442.0146  |
| 11                       | -11           | 510.7886734                 | 414.4539825               | 925.2426559            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 261.273      | 180.58997  | 124.41  | 317.4559  |
| 11.5                     | -11.5         | 550.2759441                 | 434.1404587               | 984.4164028            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 281.4711     | 189.16796  | 130.06  | 340.5771  |
| 12                       | -12           | 591.5952804                 | 453.8269349               | 1045.422215            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 302.6063     | 197.74594  | 135.72  | 364.6354  |
| 12.5                     | -12.5         | 634.7468384                 | 473.5134111               | 1108.26025             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 324.6787     | 206.32393  | 141.37  | 389.6309  |
| 13                       | -13           | 679.7304133                 | 493.1998873               | 1172.930301            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 347.6882     | 214.90191  | 147.03  | 415.5636  |
| 13.5                     | -13.5         | 767.3011386                 | 1507.964474               | 2275.265612            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 392.4814     | 657.06513  | 152.68  | 896.8651  |
| 14                       | -14           | 1018.628802                 | 1507.964474               | 2526.593276            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 521.0378     | 657.06513  | 158.34  | 1019.767  |
| 14.5                     | -14.5         | 1269.956114                 | 1507.964474               | 2777.920588            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 649.5939     | 657.06513  | 163.99  | 1142.668  |
| 15                       | -15           | 1521.283526                 | 1507.964474               | 3029.248               | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 778.1501     | 657.06513  | 169.65  | 1265.569  |
| 15.5                     | -15.5         | 1772.61121                  | 1507.964474               | 3280.575684            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 906.7065     | 657.06513  | 175.30  | 1388.471  |
| 16                       | -16           | 2023.938652                 | 1507.964474               | 3531.903126            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1035.263     | 657.06513  | 180.96  | 1511.372  |
| 16.5                     | -16.5         | 2275.266316                 | 1507.964474               | 3783.23079             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1163.819     | 657.06513  | 186.61  | 1634.274  |
| 17                       | -17           | 2526.593728                 | 1507.964474               | 4034.558202            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1292.375     | 657.06513  | 192.27  | 1757.175  |
| 17.5                     | -17.5         | 2777.921141                 | 1507.964474               | 4285.885614            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1420.932     | 657.06513  | 197.92  | 1880.076  |
| 18                       | -18           | 3029.248503                 | 1507.964474               | 4537.212976            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1549.488     | 657.06513  | 203.58  | 2002.978  |
| 18.5                     | -18.5         | 3280.575915                 | 1507.964474               | 4788.540389            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1678.044     | 657.06513  | 209.23  | 2125.879  |
| 19                       | -19           | 3531.903428                 | 1507.964474               | 5039.867901            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1806.6       | 657.06513  | 214.88  | 2248.78   |
| 19.5                     | -19.5         | 3783.23089                  | 1507.964474               | 5291.195364            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1935.156     | 657.06513  | 220.54  | 2371.682  |
| 20                       | -20           | 4034.558303                 | 1507.964474               | 5542.522776            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2063.713     | 657.06513  | 226.19  | 2494.583  |

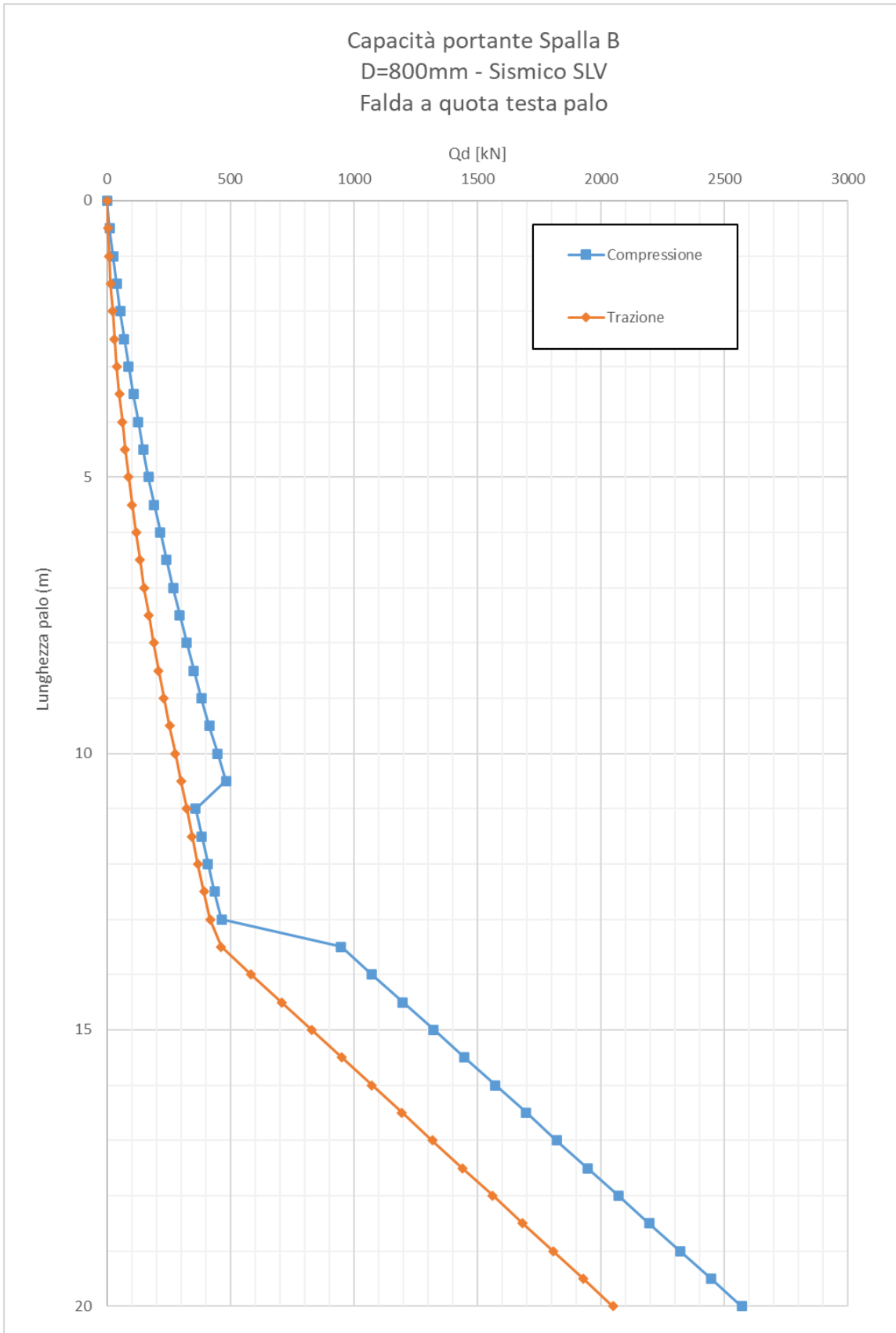
| Depth From Pile Head (m) | Elevation (m) | Skin Friction Capacity (kN) | End Bearing Capacity (kN) | Ultimate Capacity (kN) | FSL,c | FSL,t | FSB  | TRAZIONE   |          |           |           |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|------------|----------|-----------|-----------|
|                          |               |                             |                           |                        |       |       |      | QI/FS (kN) | Wp (kN)  | Qd,t (kN) | Qd,c (kN) |
| 0                        | 0             | 0                           | 0                         | 0                      | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0          | 0        | 0         | 0         |
| 0.5                      | -0.5          | 1.069149466                 | 34.92697049               | 35.99611995            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 0.503129   | 3.015929 | 3.519058  | 3.519058  |
| 1                        | -1            | 4.276592742                 | 69.85394097               | 74.13053371            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 2.012514   | 6.031858 | 8.044372  | 8.044372  |
| 1.5                      | -1.5          | 9.62232676                  | 104.7809115               | 114.4032382            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 4.528154   | 9.047787 | 13.57594  | 13.57594  |
| 2                        | -2            | 17.10637588                 | 139.7078819               | 156.8142578            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 8.050059   | 12.06372 | 20.11378  | 20.11378  |
| 2.5                      | -2.5          | 26.72871806                 | 174.6348524               | 201.3635705            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 12.57822   | 15.07964 | 27.65787  | 27.65787  |
| 3                        | -3            | 38.48936479                 | 209.5618229               | 248.0511877            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 18.11264   | 18.09557 | 36.20822  | 36.20822  |
| 3.5                      | -3.5          | 52.3883072                  | 244.4887934               | 296.8771006            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 24.65332   | 21.1115  | 45.76482  | 45.76482  |
| 4                        | -4            | 68.42549504                 | 279.4157639               | 347.8412589            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 32.20023   | 24.12743 | 56.32766  | 56.32766  |
| 4.5                      | -4.5          | 86.6010377                  | 314.3427344               | 400.9437721            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 40.75343   | 27.14336 | 67.89679  | 67.89679  |
| 5                        | -5            | 106.914856                  | 349.2697049               | 456.1845609            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 50.31287   | 30.15929 | 80.47216  | 80.47216  |
| 5.5                      | -5.5          | 129.3669527                 | 384.1966753               | 513.563628             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 60.87857   | 33.17522 | 94.05378  | 94.05378  |
| 6                        | -6            | 153.9573676                 | 419.1236458               | 573.0810134            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 72.45053   | 36.19115 | 108.6417  | 108.6417  |
| 6.5                      | -6.5          | 180.6860534                 | 454.0506163               | 634.7366697            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 85.02873   | 39.20708 | 124.2358  | 124.2358  |
| 7                        | -7            | 209.5530751                 | 488.9775868               | 698.5306619            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 98.61321   | 42.22301 | 140.8362  | 140.8362  |
| 7.5                      | -7.5          | 240.5583365                 | 523.9045573               | 764.4628938            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 113.2039   | 45.23893 | 158.4429  | 158.4429  |
| 8                        | -8            | 273.7019477                 | 558.8315278               | 832.5334754            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 128.8009   | 48.25486 | 177.0558  | 177.0558  |
| 8.5                      | -8.5          | 308.9838684                 | 593.7584983               | 902.7423666            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 145.4042   | 51.27079 | 196.675   | 196.675   |
| 9                        | -9            | 346.4040987                 | 628.6854687               | 975.0895675            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 163.0137   | 54.28672 | 217.3004  | 217.3004  |
| 9.5                      | -9.5          | 385.9625598                 | 663.6124392               | 1049.574999            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 181.6294   | 57.30265 | 238.9321  | 238.9321  |
| 10                       | -10           | 427.6593561                 | 698.5394097               | 1126.198766            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 201.2515   | 60.31858 | 261.57    | 261.57    |
| 10.5                     | -10.5         | 471.4944106                 | 733.4663802               | 1204.960791            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 221.8797   | 63.33451 | 285.2142  | 285.2142  |
| 11                       | -11           | 510.7886734                 | 414.4539825               | 925.2426559            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 240.3711   | 66.35044 | 306.7216  | 306.7216  |
| 11.5                     | -11.5         | 550.2759441                 | 434.1404587               | 984.4164028            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 258.9534   | 69.36637 | 328.3198  | 328.3198  |
| 12                       | -12           | 591.5952804                 | 453.8269349               | 1045.422215            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 278.3978   | 72.38229 | 350.7801  | 350.7801  |
| 12.5                     | -12.5         | 634.7468384                 | 473.5134111               | 1108.26025             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 298.7044   | 75.39822 | 374.1026  | 374.1026  |
| 13                       | -13           | 679.7304133                 | 493.1998873               | 1172.930301            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 319.8731   | 78.41415 | 398.2873  | 398.2873  |
| 13.5                     | -13.5         | 767.3011386                 | 1507.964474               | 2275.265612            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 361.0829   | 81.43008 | 442.513   | 442.513   |
| 14                       | -14           | 1018.628802                 | 1507.964474               | 2526.593276            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 479.3547   | 84.44601 | 563.8007  | 563.8007  |
| 14.5                     | -14.5         | 1269.956114                 | 1507.964474               | 2777.920588            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 597.6264   | 87.46194 | 685.0883  | 685.0883  |
| 15                       | -15           | 1521.283526                 | 1507.964474               | 3029.248               | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 715.8981   | 90.47787 | 806.376   | 806.376   |
| 15.5                     | -15.5         | 1772.61121                  | 1507.964474               | 3280.575684            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 834.17     | 93.4938  | 927.6638  | 927.6638  |
| 16                       | -16           | 2023.938652                 | 1507.964474               | 3531.903126            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 952.4417   | 96.50973 | 1048.951  | 1048.951  |
| 16.5                     | -16.5         | 2275.266316                 | 1507.964474               | 3783.23079             | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1070.714   | 99.52566 | 1170.239  | 1170.239  |
| 17                       | -17           | 2526.593728                 | 1507.964474               | 4034.558202            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1188.985   | 102.5416 | 1291.527  | 1291.527  |
| 17.5                     | -17.5         | 2777.921141                 | 1507.964474               | 4285.885614            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1307.257   | 105.5575 | 1412.815  | 1412.815  |
| 18                       | -18           | 3029.248503                 | 1507.964474               | 4537.212976            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1425.529   | 108.5734 | 1534.102  | 1534.102  |
| 18.5                     | -18.5         | 3280.575915                 | 1507.964474               | 4788.540389            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1543.8     | 111.5894 | 1655.39   | 1655.39   |
| 19                       | -19           | 3531.903428                 | 1507.964474               | 5039.867901            | 1.955 | 2.13  | 2.30 | 1662.072   | 114.6053 | 1776.678  | 1776.678  |
| 19.5                     | -19.5         | 37                          |                           |                        |       |       |      |            |          |           |           |



PROGETTAZIONE ATI:







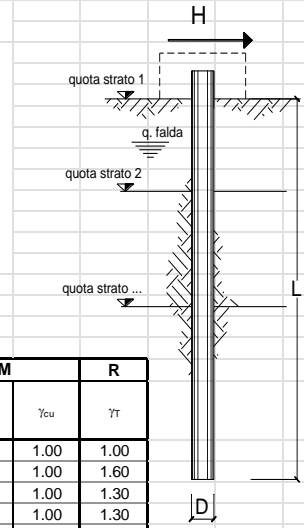
PROGETTAZIONE ATI:

Carico limite orizzontale

Per il calcolo del momento plastico si è fatto riferimento all'armatura registrata nella specifica relazione di calcolo delle strutture. La armatura è costituita da 20φ32.

M<sub>plas</sub>= 1350 kNm

| Carico limite orizzontale di un palo singolo impedito di ruotare in testa in accordo alla teoria di Brinch-Hansen |                |  |   |                        |                 |                  |                   |            |       |
|---|----------------|--|---|------------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------|-------|
| <b>Teoria:</b>  |                | Si ipotizza che la rottura del sistema palo-terreno possa avvenire seguendo 3 meccanismi di rottura diversi: 1) meccanismo di palo corto; 2) meccanismo di palo intermedio; 3) meccanismo di palo lungo. Il meccanismo di rottura che si sviluppa dipende dal momento ultimo della sezione del palo, della lunghezza del palo e dalle pressioni limite nette che si sviluppano lungo il fusto. La pressione limite netta, per un mezzo dotato di coesione e attrito, è espressa come $\sigma_{lim} = K_c \cdot \sigma_{v0}' + K_c \cdot c$ . La forza limite orizzontale per unità di lunghezza del palo è pari a $\sigma_{lim} \cdot D$ , dove D è il diametro del palo. Per maggiori informazioni si rimanda all'articolo di Brinch Hansen (1961). |   |                        |                 |                  |                   |            |       |
| <b>Input:</b>   |                |  |   |                        |                 |                  |                   |            |       |
|   |                | <b>coefficienti parziali</b>   |   | <b>A</b>               |                 | <b>M</b>         |                   | <b>R</b>   |       |
|   |                | <b>Metodo di calcolo</b>   |   | permanenti             | variabili       |                  |                   |            |       |
|   |                |  |   | $\gamma_G$             | $\gamma_Q$      | $\gamma_\varphi$ | $\gamma_{cu}$     | $\gamma_r$ |       |
| S U   | A1+M1+R1       | <input type="radio"/>  | 1.30  | 1.50                   | 1.00            | 1.00             | 1.00              | 1.00       |       |
|   | A2+M1+R2       | <input type="radio"/>  | 1.00  | 1.30                   | 1.00            | 1.00             | 1.00              | 1.60       |       |
|   | A1+M1+R3       | <input type="radio"/>  | 1.30  | 1.50                   | 1.00            | 1.00             | 1.00              | 1.30       |       |
|   | SISMA          | <input type="radio"/>  | 1.00  | 1.00                   | 1.00            | 1.00             | 1.00              | 1.30       |       |
| DM88  |                | <input type="radio"/>  | 1.00  | 1.00                   | 1.00            | 1.00             | 1.00              | 1.00       |       |
| definiti dal progettista  |                | <input checked="" type="radio"/>   | 1.00  | 1.00                   | 1.00            | 2.00             | 1.30              |            |       |
| n   | 1              | 2  | 3   | 4                      | 5               | 7                | ≥10               | T.A.       | prog. |
| ξ <sub>3</sub>  | 1.70           | 1.65   | 1.60  | 1.55                   | 1.50            | 1.45             | 1.40              | 1.00       | 1.00  |
| ξ <sub>4</sub>  | 1.70           | 1.55   | 1.48  | 1.42                   | 1.34            | 1.28             | 1.21              | 1.00       | 1.00  |
| strati terreno  | descrizione    | Quota [m]  | γ [kN/m <sup>3</sup> ]  | Parametri medi         |                 | Parametri minimi |                   |            |       |
|   |                |  |   | φ                      | c               | φ                | c                 |            |       |
|   |                |  |   | [°]                    | [kPa]           | [°]              | [kPa]             |            |       |
| <input type="checkbox"/>  | strato 1       | ALL-Gh   | 100.00  | 20.5                   | 32.5            | 2.5              | 32.5              | 2.5        |       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | strato 2       | sub-alt  | 89.40   | 21                     | 27.5            | 15               | 27.5              | 15         |       |
| <input checked="" type="checkbox"/>   | strato 3       | SUB  | 86.60   | 23.5                   | 28.5            | 40               | 28.5              | 40         |       |
| <input type="checkbox"/>  | strato 4       |  |   |                        |                 |                  |                   |            |       |
| <input type="checkbox"/>  | strato 5       |  |   |                        |                 |                  |                   |            |       |
| <input type="checkbox"/>  | strato 6       |  |   |                        |                 |                  |                   |            |       |
| Z <sub>w</sub>  | 100            | [m]  | Quota falda   |                        |                 |                  |                   |            |       |
| q   | 0              | [kPa]  | Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni) |                        |                 |                  |                   |            |       |
| M <sub>u</sub>  | 1350           | [kNm]  | Momento ultimo della sezione  |                        |                 |                  |                   |            |       |
| D   | 0.8            | [m]  | Diametro del palo   |                        |                 |                  |                   |            |       |
| L   | 20             | [m]  | Lunghezza del palo  |                        |                 |                  |                   |            |       |
| <b>Risultati:</b>   |                |  |   |                        |                 |                  |                   |            |       |
|   | <b>H medio</b> |  |   |                        | <b>H minimo</b> |                  |                   |            |       |
| Palo lungo  | 936            | (kN)   |   |                        | 936             | (kN)             |                   |            |       |
| Palo intermedio   | 8713           | (kN)   |   |                        | 8713            | (kN)             |                   |            |       |
| Palo corto  | 29763          | (kN)   |   |                        | 29763           | (kN)             |                   |            |       |
| <b>H<sub>med</sub></b>  | <b>936</b>     | <b>(kN)</b>  | <b>Palo lungo</b>   | <b>H<sub>min</sub></b> | <b>935.6</b>    | <b>(kN)</b>      | <b>Palo lungo</b> |            |       |
| <b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub> ; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>                         |                |  |   | 550.33                 |                 | (kN)             |                   |            |       |
| <b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>r</sub></b>  |                |  |   | 423.33                 |                 | (kN)             |                   |            |       |
| Carico Assiale Permanente (G):  |                | G =  | 1   |                        | (kN)            |                  |                   |            |       |
| Carico Assiale variabile (Q):   |                | Q =  | 0   |                        | (kN)            |                  |                   |            |       |
| <b>F<sub>d</sub> = G · γ<sub>G</sub> + Q · γ<sub>Q</sub> =</b>  |                |  |   | 1.00                   |                 | (kN)             |                   |            |       |
| <b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>   |                |  |   | 423.33                 |                 |                  |                   |            |       |



Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

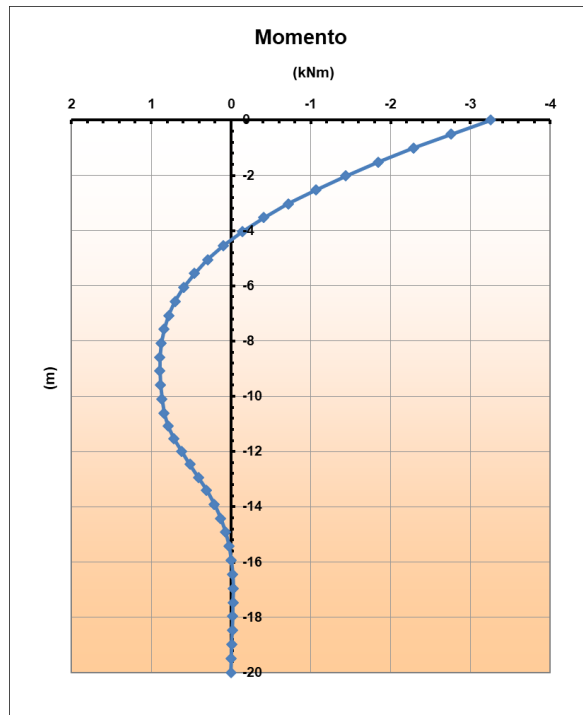


Figura 7-3 – Momento flettente agente per carico unitario

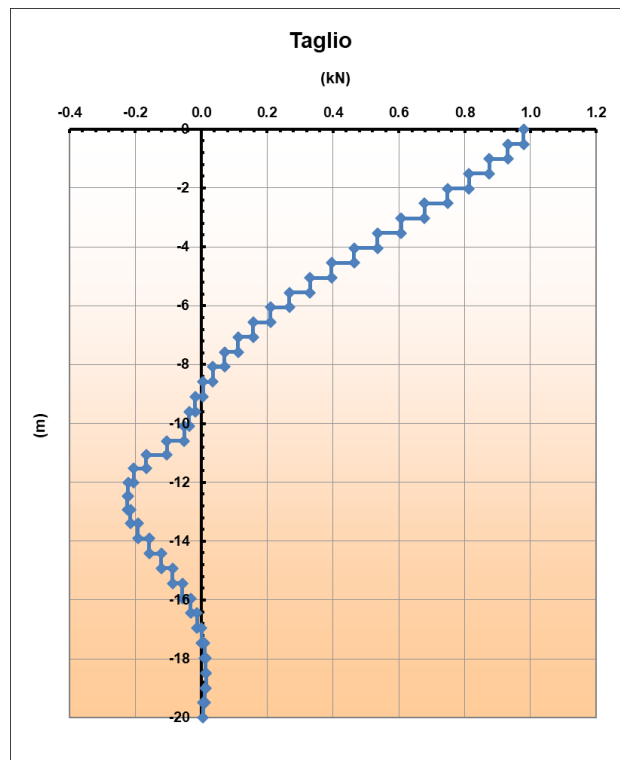


Figura 7-4 – Taglio agente per carico unitario

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

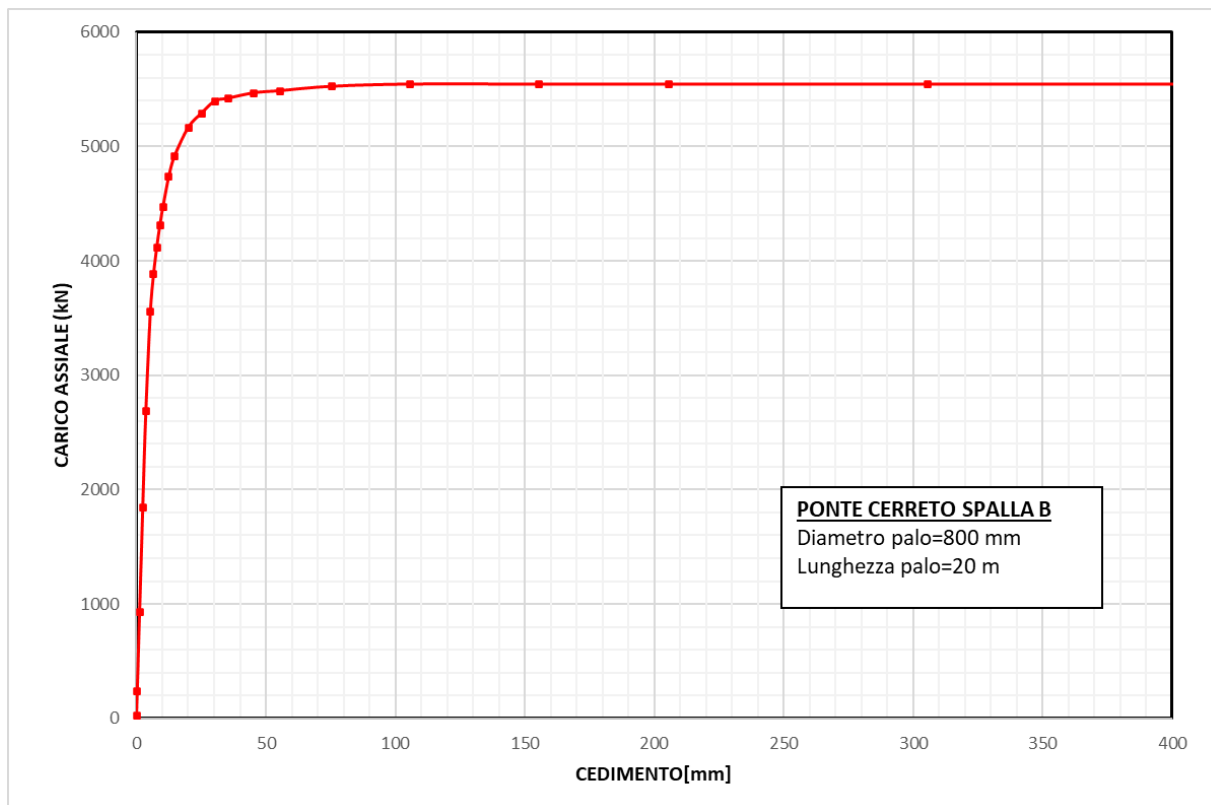


Figura 7-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI: