

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 IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> | <p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorini</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 settore a-b-c</p> <p><i>Ing. Moreno Parifini</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Muller</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> | <p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>cooprogetti cocoprogetti</p> <p>engeko</p> <p>AIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p> |
| <p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi 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 viabilità secondaria

Relazione di calcolo delle fondazioni

| CODICE PROGETTO | | | NOME FILE | REVISIONE | SCALA |
|-----------------|--|-------------|-----------------------------|------------|-----------|
| PROGETTO | LIV.PROG. | ANNO | T00VI07GETRE01_B | | |
| DPAN247 | D | 22 | CODICE ELAB. T00VI07GETRE01 | 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

| | | |
|-----------|--|------------------|
| 1. | <u>PREMESSA.....</u> | <u>2</u> |
| 2. | <u>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</u> | <u>2</u> |
| 2.1. | NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE | 2 |
| 2.1. | ELABORATI DI PROGETTO..... | 2 |
| 3. | <u>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</u> | <u>3</u> |
| 4. | <u>CRITERI DI CALCOLO.....</u> | <u>4</u> |
| 4.1. | CARICO LIMITE VERTICALE | 4 |
| 4.2. | CARICO LIMITE ORIZZONTALE | 7 |
| 4.3. | COMPORAMENTO AI CARICHI TRASVERSALI DEI PALI DI FONDAZIONE | 8 |
| 4.4. | SOLLECITAZIONI LUNGO IL FUSTO DEL PALO | 9 |
| 4.1. | CALCOLO DEI CEDIMENTI..... | 9 |
| 5. | <u>RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI.....</u> | <u>10</u> |
| 6. | <u>PONTE VIABILITA' SECONDARIA SPALLA A.....</u> | <u>11</u> |
| 7. | <u>PONTE VIABILITA' SECONDARIA SPALLA B.....</u> | <u>19</u> |

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 Viabilità Secondaria.

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. T00VI07STRRE01].

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

[T00VI07STRRE01] Relazione tecnica e di calcolo opere d'arte maggiori viadotti e ponti – ponte Viabilità Secondaria.

3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

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

- **ALL-Gh** (Depositi alluvionali grossolani) ghiaia con sabbia limosa, ghiaia con limo e argilla da sabbiosa a debolmente sabbiosa;
- **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 | γ_n (kN/m ³) | c' (kPa) | ϕ' (°) | $c'_{res}*$ (kPa) | $\phi'_{res}*$ (°) | E (MPa) |
|--------|---------------------------------|------------------------------------|---------------|----------------|----------------------|-----------------------|--|
| ALL-Gh | Depositi alluvionali grossolani | 20÷21 | 0 ÷ 5 | 30 ÷ 35 | - | - | 20 per z>5 m 50 per 5 m<z<15 m 70 ÷ 100 per z>15 m |
| Sub | Substrato marnoso arenaceo | 23÷24 | 30 ÷ 50 | 27 ÷ 30 | - | - | 2,5 *10 ⁴ ÷ 3,5*10 ⁴ |

* 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 sono state svolte 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 γ_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 |
|--------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
| | γ_R | (R3) | (R3) | (R3) |
| Base | γ_b | 1,15 | 1,35 | 1,3 |
| Laterale in compressione | γ_s | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| Totale (*) | γ | 1,15 | 1,30 | 1,25 |
| Laterale in trazione | γ_{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 ξ_3 e ξ_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 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| ξ_3 | 1,70 | 1,65 | 1,60 | 1,55 | 1,50 | 1,45 | 1,40 |
| ξ_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 γ_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

τ_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:

σ'_v = tensione verticale efficace litostatica

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

ϕ = 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 medio diametro ($D=450$ mm) è stato preso con riferimento alle curve di Berezantzev (1961) riportate nella figura seguente. È stato considerato un angolo ridotto per pali trivellati $\phi'_{rid}=\phi'-3$ per tener conto della densità relativa e del livello di tensione.

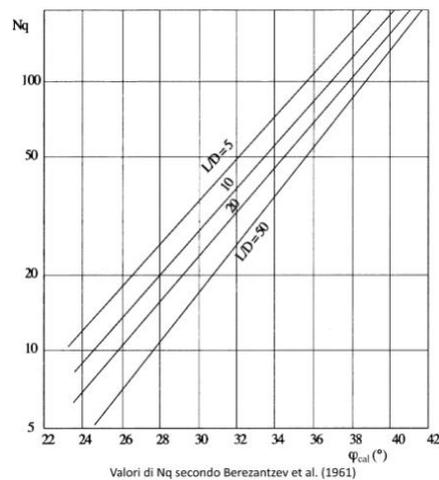


Figura 4-1 – N_q secondo Berezantzev-pali di medio diametro

Per il substrato roccioso (SUB) la portata limite di base è assunta $q_{bl}=3000$ kPa.

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 previsti da normativa.

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 σ'_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:

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

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

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

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

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

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

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.

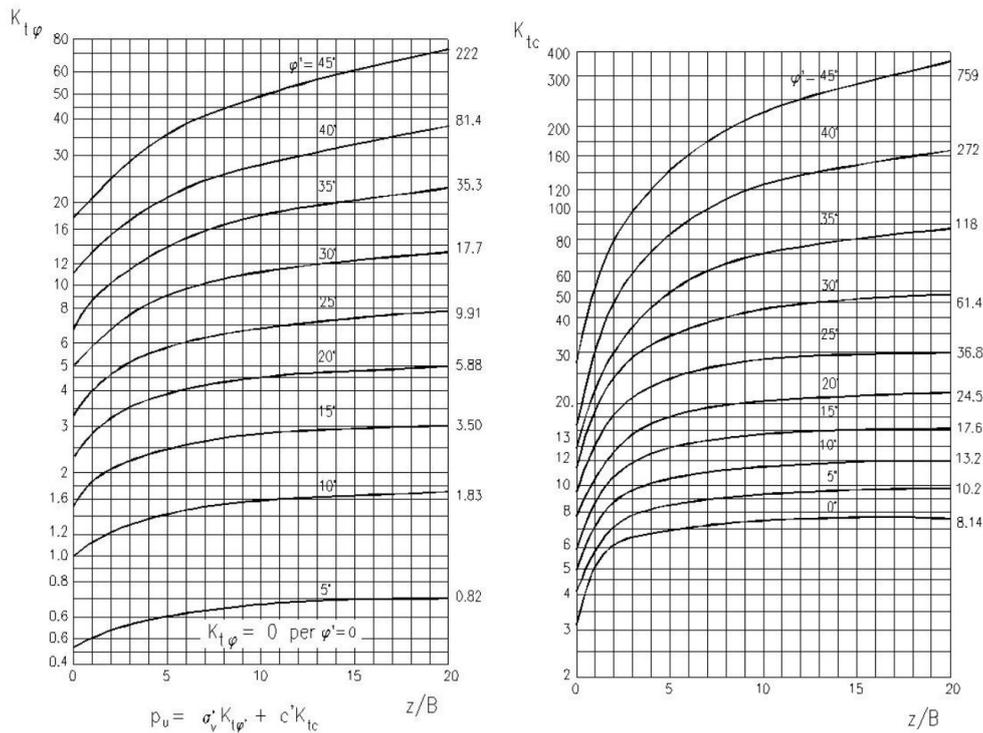


Figura 4-2 – Andamento dei parametro K_q e K_c di Brinch-Hansen, 1961

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 orientativi di n_h utilizzati sono riassunti nella seguente tabella:

| Tipo di terreno | n_h [kN/m ³] |
|--|----------------------------|
| 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.

4.1. 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).

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 | 306.88 | 0.45 | 12 |
| Spalla B | 309.44 | 0.45 | 12 |

Verifiche 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 | 1168.51 | 875.00 | 1.34 | 1182.83 | 601.00 | 1.97 |
| Spalla B | 1181.69 | 875.00 | 1.35 | 1195.99 | 601.00 | 1.99 |

Verifiche 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 | 946.17 | - | - | 951.90 | - | - |
| Spalla B | 958.29 | - | - | 964.01 | - | - |

Verifiche a carico trasversale

| FONDAZIONE | CARICO LIMITE ORIZZONTALE SLU-SLV [kN] | CARICO MAX DI PROGETTO ORIZZONTALE SLU[kN] | FS |
|------------|--|---|------|
| Spalla A | 242.77 | 143.00 | 1.70 |
| Spalla B | 242.77 | 143.00 | 1.70 |

Cedimenti

| FONDAZIONE | CARICO MASSIMO VERTICALE SLE[kN] | CEDIMENTO [MM] |
|------------|---|-------------------|
| Spalla A | 700 | 1.32 |
| Spalla B | 716 | 1.33 |

6. PONTE VIABILITA' SECONDARIA 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 | γ [kN/m ³] | ϕ' [°] | c' [kPa] | N_q [-] | $Q_{b,lim}$ [kPa] |
|----------------|------------------|-------------------------------|-------------|------------|-----------|-------------------|
| 0.0-5.3 | ALL-Gh | 20.5 | 32.5 | 2.5 | 17.7 | 3000 |
| >5.3 | SUB | 23.5 | 28.5 | 40.0 | - | 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.

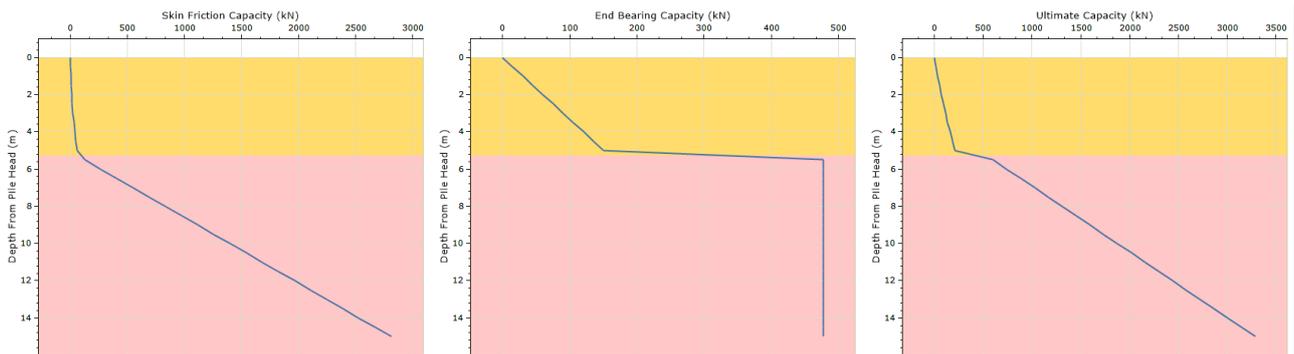


Figura 6-1 – Curve a compressione non fattorizzate

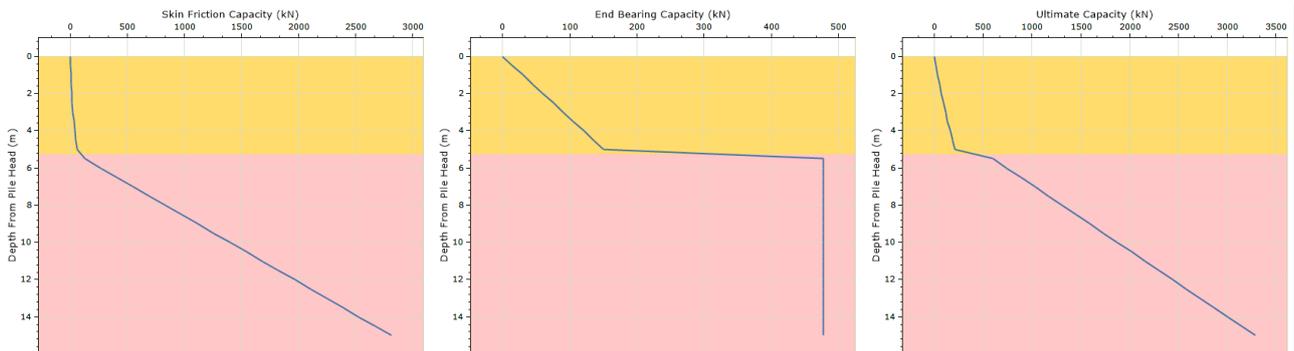


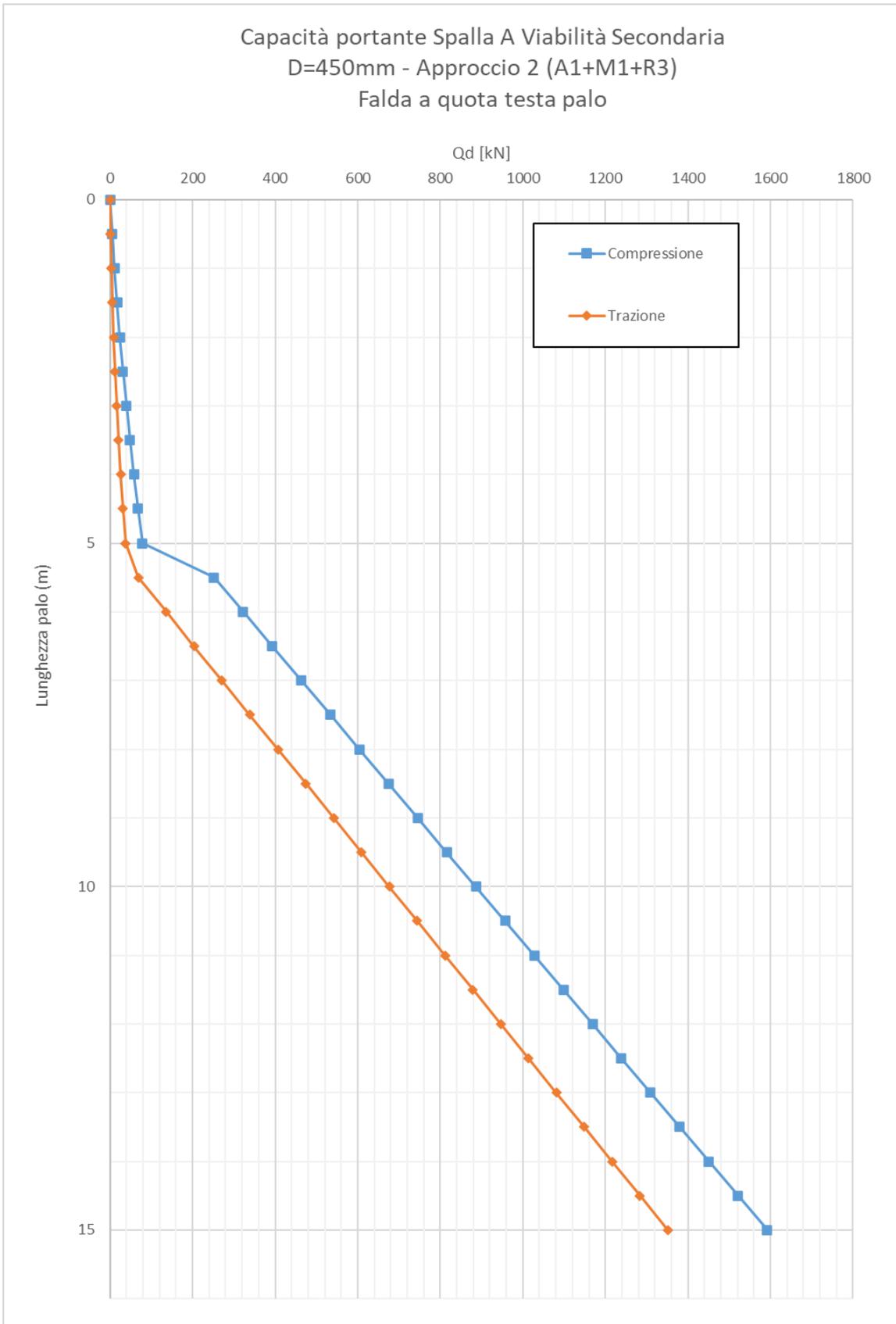
Figura 6-2 – Curve a trazione non fattorizzate

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 | | | |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|-------------|------------|---------|-----------|
| | | | | | | | | 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 | 0.601397458 | 15.08051712 | 15.68191458 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.30762 | 6.5710314 | 1.79 | 5.09 |
| 1 | -1 | 2.405586253 | 30.16103424 | 32.56662049 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.230479 | 13.142063 | 3.58 | 10.79407 |
| 1.5 | -1.5 | 5.412558861 | 45.24155135 | 50.65411022 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.768572 | 19.713094 | 5.37 | 17.11396 |
| 2 | -2 | 9.62234371 | 60.32206847 | 69.94441218 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.921915 | 26.284126 | 7.16 | 24.05 |
| 2.5 | -2.5 | 15.03490607 | 75.40258559 | 90.43749166 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.690489 | 32.855157 | 8.95 | 31.59947 |
| 3 | -3 | 21.65026853 | 90.48310271 | 112.1333712 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 11.07431 | 39.426189 | 10.74 | 39.76508 |
| 3.5 | -3.5 | 29.46841922 | 105.5636198 | 135.032039 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 15.07336 | 45.99722 | 12.52 | 48.54593 |
| 4 | -4 | 38.48935243 | 120.6441369 | 159.1334894 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 19.68765 | 52.568251 | 14.31 | 57.94202 |
| 4.5 | -4.5 | 48.7130732 | 135.7246541 | 184.4377273 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 24.91717 | 59.139283 | 16.10 | 67.95334 |
| 5 | -5 | 60.13961828 | 150.8051712 | 210.9447895 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 30.76195 | 65.710314 | 17.89 | 78.57992 |
| 5.5 | -5.5 | 124.1220015 | 477.1293843 | 601.2513857 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 63.48951 | 207.89951 | 19.68 | 251.7074 |
| 6 | -6 | 265.4939819 | 477.1293843 | 742.6233662 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 135.8025 | 207.89951 | 21.47 | 322.2312 |
| 6.5 | -6.5 | 406.865934 | 477.1293843 | 883.9953183 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 208.1156 | 207.89951 | 23.26 | 392.755 |
| 7 | -7 | 548.2380558 | 477.1293843 | 1025.36744 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 280.4287 | 207.89951 | 25.05 | 463.2789 |
| 7.5 | -7.5 | 689.6103473 | 477.1293843 | 1166.739732 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 352.7419 | 207.89951 | 26.84 | 533.8029 |
| 8 | -8 | 830.9825539 | 477.1293843 | 1308.111938 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 425.055 | 207.89951 | 28.63 | 604.3268 |
| 8.5 | -8.5 | 972.3545061 | 477.1293843 | 1449.48389 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 497.368 | 207.89951 | 30.42 | 674.8505 |
| 9 | -9 | 1113.726713 | 477.1293843 | 1590.856097 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 569.6812 | 207.89951 | 32.21 | 745.3745 |
| 9.5 | -9.5 | 1255.098608 | 477.1293843 | 1732.227993 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 641.9942 | 207.89951 | 34.00 | 815.8982 |
| 10 | -10 | 1396.470928 | 477.1293843 | 1873.600312 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 714.3074 | 207.89951 | 35.78 | 886.4222 |
| 10.5 | -10.5 | 1537.84305 | 477.1293843 | 2014.972434 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 786.6205 | 207.89951 | 37.57 | 956.9461 |
| 11 | -11 | 1679.214945 | 477.1293843 | 2156.34433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 858.9335 | 207.89951 | 39.36 | 1027.47 |
| 11.5 | -11.5 | 1820.587096 | 477.1293843 | 2297.71648 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 931.2466 | 207.89951 | 41.15 | 1097.994 |
| 12 | -12 | 1961.959421 | 477.1293843 | 2439.088805 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1003.56 | 207.89951 | 42.94 | 1168.518 |
| 12.5 | -12.5 | 2103.331565 | 477.1293843 | 2580.46095 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1075.873 | 207.89951 | 44.73 | 1239.042 |
| 13 | -13 | 2244.703546 | 477.1293843 | 2721.83293 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1148.186 | 207.89951 | 46.52 | 1309.565 |
| 13.5 | -13.5 | 2386.075789 | 477.1293843 | 2863.205173 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1220.499 | 207.89951 | 48.31 | 1380.089 |
| 14 | -14 | 2527.447591 | 477.1293843 | 3004.576976 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1292.812 | 207.89951 | 50.10 | 1450.613 |
| 14.5 | -14.5 | 2668.819968 | 477.1293843 | 3145.949352 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1365.125 | 207.89951 | 51.89 | 1521.137 |
| 15 | -15 | 2810.192146 | 477.1293843 | 3287.32153 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1437.438 | 207.89951 | 53.68 | 1591.661 |

| 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) | Wp (kN) | Qd,t (kN) | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | -0.5 | 0.601397458 | 15.08051712 | 15.68191458 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.283011 | 0.954259 | 1.237269 | |
| 1 | -1 | 2.405586253 | 30.16103424 | 32.56662049 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.132041 | 1.908518 | 3.040558 | |
| 1.5 | -1.5 | 5.412558861 | 45.24155135 | 50.65411022 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.547087 | 2.862776 | 5.409863 | |
| 2 | -2 | 9.62234371 | 60.32206847 | 69.94441218 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.528162 | 3.817035 | 8.345197 | |
| 2.5 | -2.5 | 15.03490607 | 75.40258559 | 90.43749166 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.07525 | 4.771294 | 11.84654 | |
| 3 | -3 | 21.65026853 | 90.48310271 | 112.1333712 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 10.18836 | 5.725553 | 15.91391 | |
| 3.5 | -3.5 | 29.46841922 | 105.5636198 | 135.032039 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 13.86749 | 6.679811 | 20.5473 | |
| 4 | -4 | 38.48935243 | 120.6441369 | 159.1334894 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 18.11264 | 7.63407 | 25.74671 | |
| 4.5 | -4.5 | 48.7130732 | 135.7246541 | 184.4377273 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 22.9238 | 8.588329 | 31.51213 | |
| 5 | -5 | 60.13961828 | 150.8051712 | 210.9447895 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 28.301 | 9.542588 | 37.84358 | |
| 5.5 | -5.5 | 124.1220015 | 477.1293843 | 601.2513857 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 58.41035 | 10.49685 | 68.9072 | |
| 6 | -6 | 265.4939819 | 477.1293843 | 742.6233662 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 124.9383 | 11.45111 | 136.3894 | |
| 6.5 | -6.5 | 406.865934 | 477.1293843 | 883.9953183 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 191.4663 | 12.40536 | 203.8717 | |
| 7 | -7 | 548.2380558 | 477.1293843 | 1025.36744 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 257.9944 | 13.35962 | 271.354 | |
| 7.5 | -7.5 | 689.6103473 | 477.1293843 | 1166.739732 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 324.5225 | 14.31388 | 338.8364 | |
| 8 | -8 | 830.9825539 | 477.1293843 | 1308.111938 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 391.0506 | 15.26814 | 406.3188 | |
| 8.5 | -8.5 | 972.3545061 | 477.1293843 | 1449.48389 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 457.5786 | 16.2224 | 473.801 | |
| 9 | -9 | 1113.726713 | 477.1293843 | 1590.856097 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 524.1067 | 17.17666 | 541.2833 | |
| 9.5 | -9.5 | 1255.098608 | 477.1293843 | 1732.227993 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 590.6346 | 18.13092 | 608.7656 | |
| 10 | -10 | 1396.470928 | 477.1293843 | 1873.600312 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 657.1628 | 19.08518 | 676.248 | |
| 10.5 | -10.5 | 1537.84305 | 477.1293843 | 2014.972434 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 723.6908 | 20.03943 | 743.7303 | |
| 11 | -11 | 1679.214945 | 477.1293843 | 2156.34433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 790.2188 | 20.99369 | 811.2125 | |
| 11.5 | -11.5 | 1820.587096 | 477.1293843 | 2297.71648 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 856.7469 | 21.94795 | 878.6948 | |
| 12 | -12 | 1961.959421 | 477.1293843 | 2439.088805 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 923.275 | 22.90221 | 946.1772 | |
| 12.5 | -12.5 | 2103.331565 | 477.1293843 | 2580.46095 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 989.8031 | 23.85647 | 1013.66 | |
| 13 | -13 | 2244.703546 | 477.1293843 | 2721.83293 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1056.331 | 24.81073 | 1081.142 | |
| 13.5 | -13.5 | 2386.075789 | 477.1293843 | 2863.205173 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1122.859 | 25.76499 | 1148.624 | |
| 14 | -14 | 2527.447591 | 477.1293843 | 3004.576976 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1189.387 | 26.71925 | 1216.106 | |
| 14.5 | -14.5 | 2668.819968 | 477.1293843 | 3145.949352 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1255.915 | 27.6735 | 1283.589 | |
| 15 | -15 | 2810.192146 | 477.1293843 | 3287.32153 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1322.443 | 28.62776 | 1351.071 | |

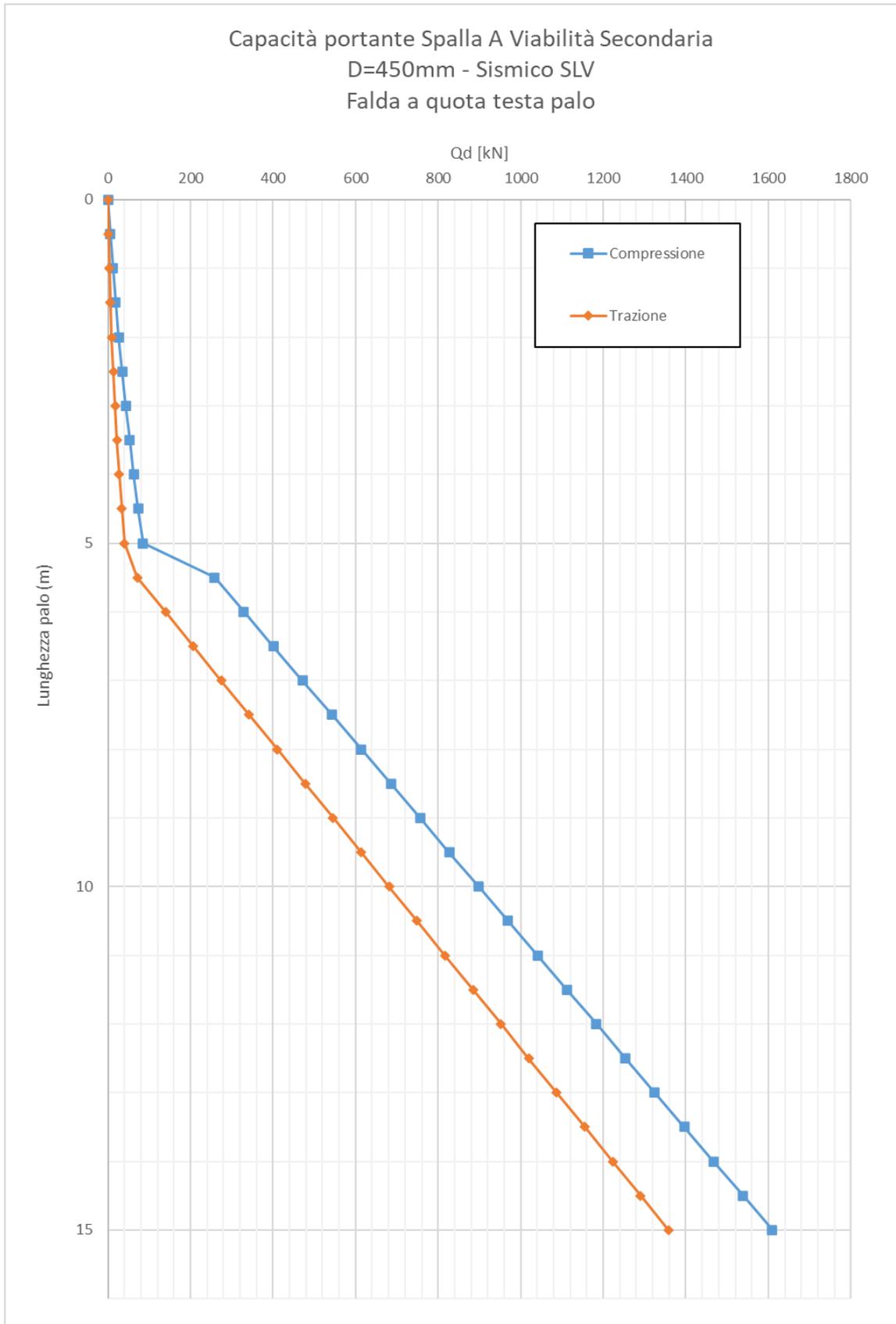


PROGETTAZIONE ATI:

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 | COMPRESIONE | | | |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|-------------|------------|---------|-----------|
| | | | | | | | | 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 | 0.601397458 | 15.08051712 | 15.68191458 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.30762 | 6.5710314 | 1.19 | 5.69 |
| 1 | -1 | 2.405586253 | 30.16103424 | 32.56662049 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.230479 | 13.142063 | 2.39 | 11.98689 |
| 1.5 | -1.5 | 5.412558861 | 45.24155135 | 50.65411022 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.768572 | 19.713094 | 3.58 | 18.9032 |
| 2 | -2 | 9.62234371 | 60.32206847 | 69.94441218 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.921915 | 26.284126 | 4.77 | 26.43 |
| 2.5 | -2.5 | 15.03490607 | 75.40258559 | 90.43749166 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.690489 | 32.855157 | 5.96 | 34.58153 |
| 3 | -3 | 21.65026853 | 90.48310271 | 112.1333712 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 11.07431 | 39.426189 | 7.16 | 43.34355 |
| 3.5 | -3.5 | 29.46841922 | 105.5636198 | 135.032039 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 15.07336 | 45.99722 | 8.35 | 52.72082 |
| 4 | -4 | 38.48935243 | 120.6441369 | 159.1334894 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 19.68765 | 52.568251 | 9.54 | 62.71331 |
| 4.5 | -4.5 | 48.7130732 | 135.7246541 | 184.4377273 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 24.91717 | 59.139283 | 10.74 | 73.32104 |
| 5 | -5 | 60.13961828 | 150.8051712 | 210.9447895 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 30.76195 | 65.710314 | 11.93 | 84.54403 |
| 5.5 | -5.5 | 124.1220015 | 477.1293843 | 601.2513857 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 63.48951 | 207.89951 | 13.12 | 258.268 |
| 6 | -6 | 265.4939819 | 477.1293843 | 742.6233662 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 135.8025 | 207.89951 | 14.31 | 329.3882 |
| 6.5 | -6.5 | 406.865934 | 477.1293843 | 883.9953183 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 208.1156 | 207.89951 | 15.51 | 400.5084 |
| 7 | -7 | 548.2380558 | 477.1293843 | 1025.36744 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 280.4287 | 207.89951 | 16.70 | 471.6287 |
| 7.5 | -7.5 | 689.6103473 | 477.1293843 | 1166.739732 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 352.7419 | 207.89951 | 17.89 | 542.749 |
| 8 | -8 | 830.9825539 | 477.1293843 | 1308.111938 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 425.055 | 207.89951 | 19.09 | 613.8694 |
| 8.5 | -8.5 | 972.3545061 | 477.1293843 | 1449.48389 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 497.368 | 207.89951 | 20.28 | 684.985 |
| 9 | -9 | 1113.726713 | 477.1293843 | 1590.856097 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 569.6812 | 207.89951 | 21.47 | 756.1099 |
| 9.5 | -9.5 | 1255.098608 | 477.1293843 | 1732.227993 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 641.9942 | 207.89951 | 22.66 | 827.23 |
| 10 | -10 | 1396.470928 | 477.1293843 | 1873.600312 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 714.3074 | 207.89951 | 23.86 | 898.3504 |
| 10.5 | -10.5 | 1537.84305 | 477.1293843 | 2014.972434 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 786.6205 | 207.89951 | 25.05 | 969.4707 |
| 11 | -11 | 1679.214945 | 477.1293843 | 2156.34433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 858.9335 | 207.89951 | 26.24 | 1040.591 |
| 11.5 | -11.5 | 1820.587096 | 477.1293843 | 2297.71648 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 931.2466 | 207.89951 | 27.43 | 1111.711 |
| 12 | -12 | 1961.959421 | 477.1293843 | 2439.088805 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1003.56 | 207.89951 | 28.63 | 1182.832 |
| 12.5 | -12.5 | 2103.331565 | 477.1293843 | 2580.46095 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1075.873 | 207.89951 | 29.82 | 1253.952 |
| 13 | -13 | 2244.703546 | 477.1293843 | 2721.83293 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1148.186 | 207.89951 | 31.01 | 1325.072 |
| 13.5 | -13.5 | 2386.075789 | 477.1293843 | 2863.205173 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1220.499 | 207.89951 | 32.21 | 1396.192 |
| 14 | -14 | 2527.447591 | 477.1293843 | 3004.576976 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1292.812 | 207.89951 | 33.40 | 1467.313 |
| 14.5 | -14.5 | 2668.819968 | 477.1293843 | 3145.949352 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1365.125 | 207.89951 | 34.59 | 1538.433 |
| 15 | -15 | 2810.192146 | 477.1293843 | 3287.32153 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1437.438 | 207.89951 | 35.78 | 1609.553 |

| 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) | Wp (kN) | Qd,t (kN) | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | -0.5 | 0.601397458 | 15.08051712 | 15.68191458 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.283011 | 1.192823 | 1.475834 | |
| 1 | -1 | 2.405586253 | 30.16103424 | 32.56662049 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.132041 | 2.385647 | 3.517688 | |
| 1.5 | -1.5 | 5.412558861 | 45.24155135 | 50.65411022 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.547087 | 3.57847 | 6.125557 | |
| 2 | -2 | 9.62234371 | 60.32206847 | 69.94441218 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.528162 | 4.771294 | 9.299456 | |
| 2.5 | -2.5 | 15.03490607 | 75.40258559 | 90.43749166 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.07525 | 5.964117 | 13.03937 | |
| 3 | -3 | 21.65026853 | 90.48310271 | 112.1333712 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 10.18836 | 7.156941 | 17.3453 | |
| 3.5 | -3.5 | 29.46841922 | 105.5636198 | 135.032039 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 13.86749 | 8.349764 | 22.21726 | |
| 4 | -4 | 38.48935243 | 120.6441369 | 159.1334894 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 18.11264 | 9.542588 | 27.65522 | |
| 4.5 | -4.5 | 48.7130732 | 135.7246541 | 184.4377273 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 22.9238 | 10.73541 | 33.65921 | |
| 5 | -5 | 60.13961828 | 150.8051712 | 210.9447895 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 28.301 | 11.92823 | 40.22923 | |
| 5.5 | -5.5 | 124.1220015 | 477.1293843 | 601.2513857 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 58.41035 | 13.12106 | 71.53141 | |
| 6 | -6 | 265.4939819 | 477.1293843 | 742.6233662 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 124.9383 | 14.31388 | 139.2522 | |
| 6.5 | -6.5 | 406.865934 | 477.1293843 | 883.9953183 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 191.4663 | 15.5067 | 206.973 | |
| 7 | -7 | 548.2380558 | 477.1293843 | 1025.36744 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 257.9944 | 16.69953 | 274.6939 | |
| 7.5 | -7.5 | 689.6103473 | 477.1293843 | 1166.739732 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 324.5225 | 17.89235 | 342.4149 | |
| 8 | -8 | 830.9825539 | 477.1293843 | 1308.111938 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 391.0506 | 19.08518 | 410.1358 | |
| 8.5 | -8.5 | 972.3545061 | 477.1293843 | 1449.48389 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 457.5786 | 20.278 | 477.8566 | |
| 9 | -9 | 1113.726713 | 477.1293843 | 1590.856097 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 524.1067 | 21.47082 | 545.5775 | |
| 9.5 | -9.5 | 1255.098608 | 477.1293843 | 1732.227993 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 590.6346 | 22.66365 | 613.2983 | |
| 10 | -10 | 1396.470928 | 477.1293843 | 1873.600312 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 657.1628 | 23.85647 | 681.0193 | |
| 10.5 | -10.5 | 1537.84305 | 477.1293843 | 2014.972434 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 723.6908 | 25.04929 | 748.7401 | |
| 11 | -11 | 1679.214945 | 477.1293843 | 2156.34433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 790.2188 | 26.24212 | 816.4609 | |
| 11.5 | -11.5 | 1820.587096 | 477.1293843 | 2297.71648 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 856.7469 | 27.43494 | 884.1818 | |
| 12 | -12 | 1961.959421 | 477.1293843 | 2439.088805 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 923.275 | 28.62776 | 951.9028 | |
| 12.5 | -12.5 | 2103.331565 | 477.1293843 | 2580.46095 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 989.8031 | 29.82059 | 1019.624 | |
| 13 | -13 | 2244.703546 | 477.1293843 | 2721.83293 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1056.331 | 31.01341 | 1087.344 | |
| 13.5 | -13.5 | 2386.075789 | 477.1293843 | 2863.205173 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1122.859 | 32.20623 | 1155.065 | |
| 14 | -14 | 2527.447591 | 477.1293843 | 3004.576976 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1189.387 | 33.39906 | 1222.786 | |
| 14.5 | -14.5 | 2668.819968 | 477.1293843 | 3145.949352 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1255.915 | 34.59188 | 1290.507 | |
| 15 | -15 | 2810.192146 | 477.1293843 | 3287.32153 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1322.443 | 35.7847 | 1358.228 | |

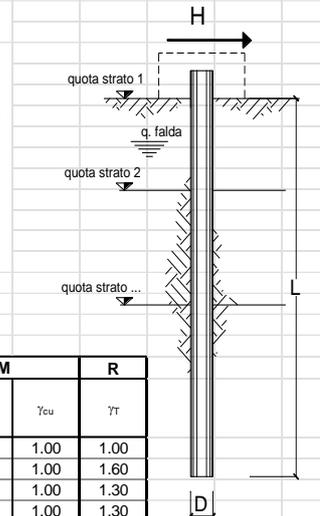


PROGETTAZIONE ATI:

Carico limite orizzontale

Per il calcolo del momento plastico si è fatto riferimento all'armatura riportata nella specifica relazione di calcolo delle strutture. La armatura è costituita da un tubo in acciaio $\phi=298.5$ mm con spessore uguale a 35 mm.

$M_{plas} = 700$ 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 $\sigma_{lim} = K_c \cdot \sigma_{vo}' + K_c \cdot c$. 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 γ_G | variabili γ_Q | γ_{ϕ} | γ_{cu} | γ_r | |
| SLU | 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_3 | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| ξ_4 | 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/m³] | Parametri medi | | Parametri minimi | | |
| | | | | | ϕ [°] | c [kPa] | ϕ [°] | c [kPa] | |
| | | strato 1 | ALL-Gh | 100.00 | 20.5 | 32.5 | 2.5 | 32.5 | 2.5 |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> strato 2 | SUB | 94.70 | 23.5 | 28.5 | 40 | 28.5 | 40 |
| | | <input type="checkbox"/> strato 3 | | | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> strato 4 | | | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> strato 5 | | | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> strato 6 | | | | | | | |
| Z_w | 100 | [m] | Quota falda | | | | | | |
| q | 0 | [kPa] | Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni) | | | | | | |
| Mu | 700 | [kNm] | Momento ultimo della sezione | | | | | | |
| D | 0.45 | [m] | Diametro del palo | | | | | | |
| L | 12 | [m] | Lunghezza del palo | | | | | | |
| Risultati: | | | | | | | | | |
| | | H medio | | | H minimo | | | | |
| Palo lungo | 537 | (kN) | | | | 537 | | | (kN) |
| Palo intermedio | 2906 | (kN) | | | | 2906 | | | (kN) |
| Palo corto | 9364 | (kN) | | | | 9364 | | | (kN) |
| H_{med} | 537 | (kN) | Palo lungo | | H_{min} | 536.5 | (kN) | Palo lungo | |
| $H_k = \min(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$ | | | | | 315.60 (kN) | | | | |
| $H_d = H_k/\gamma_r$ | | | | | 242.77 (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) | | | | | |
| $FS = H_d / F_d =$ | | | | 242.77 | | | | | |

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

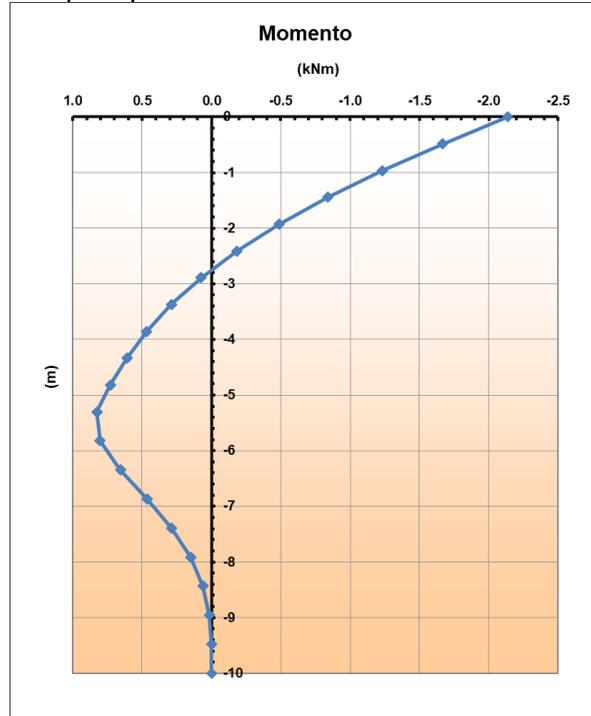


Figura 6-3 – Momento flettente agente per carico unitario

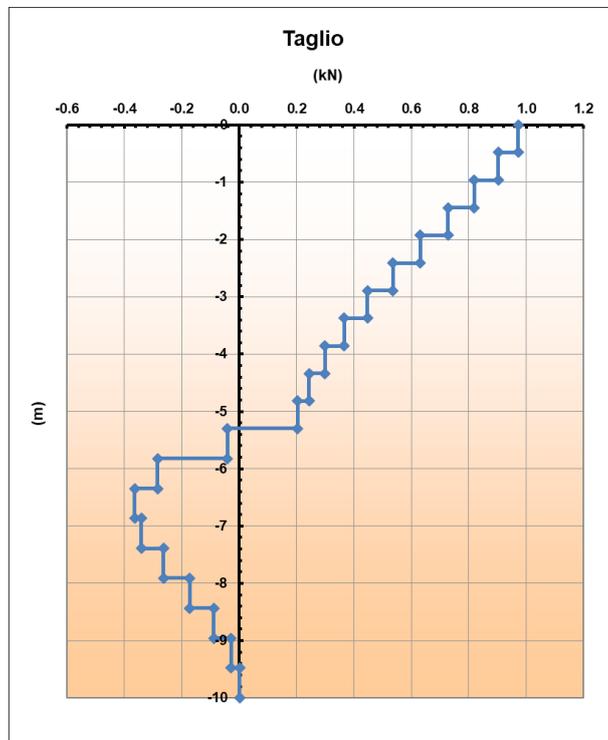


Figura 6-4 – Taglio agente per carico unitario

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

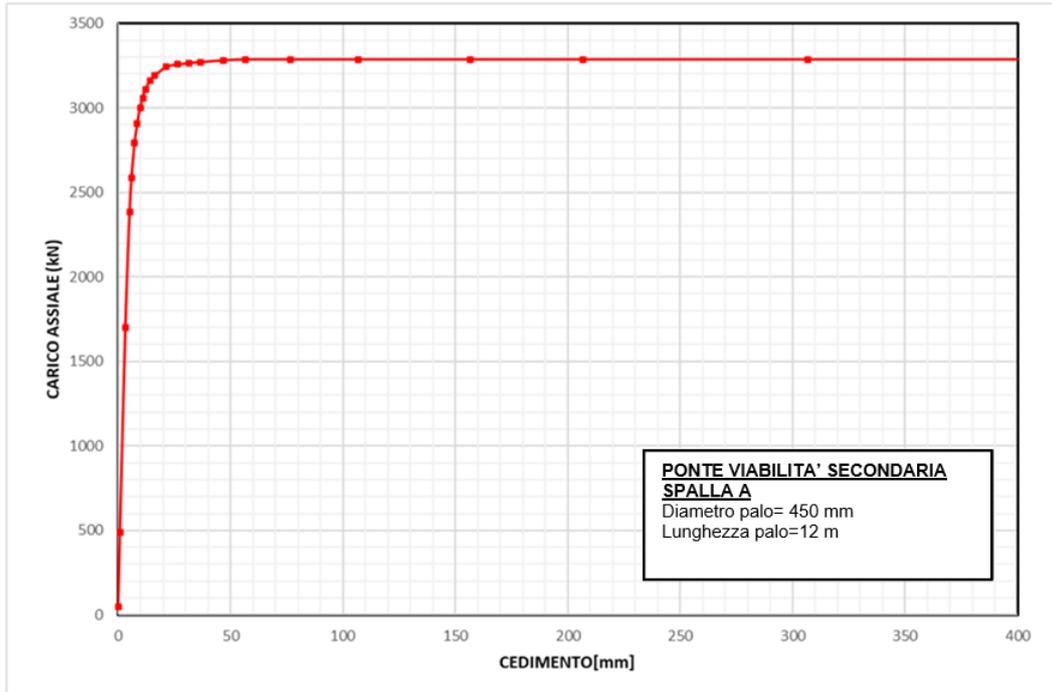


Figura 6-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

7. PONTE VIABILITA' SECONDARIA SPALLA B

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

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.

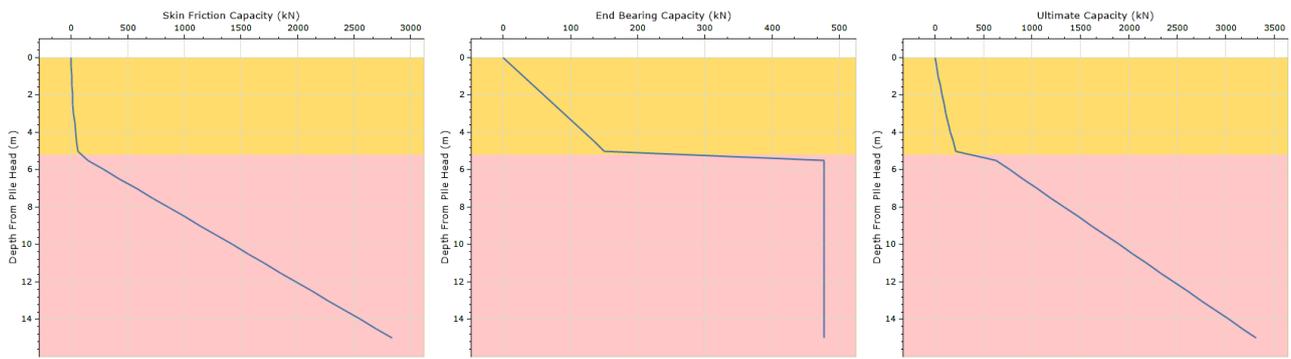


Figura 7-1 – Curve a compressione non fattorizzate

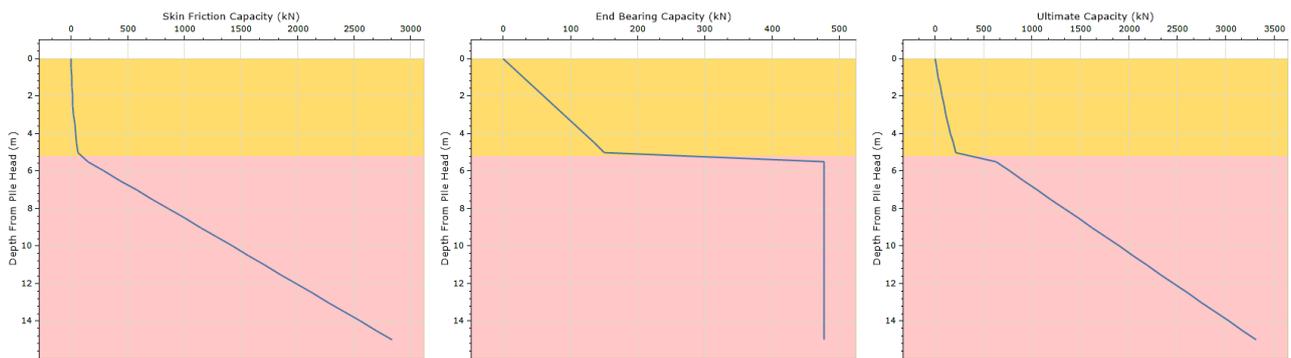


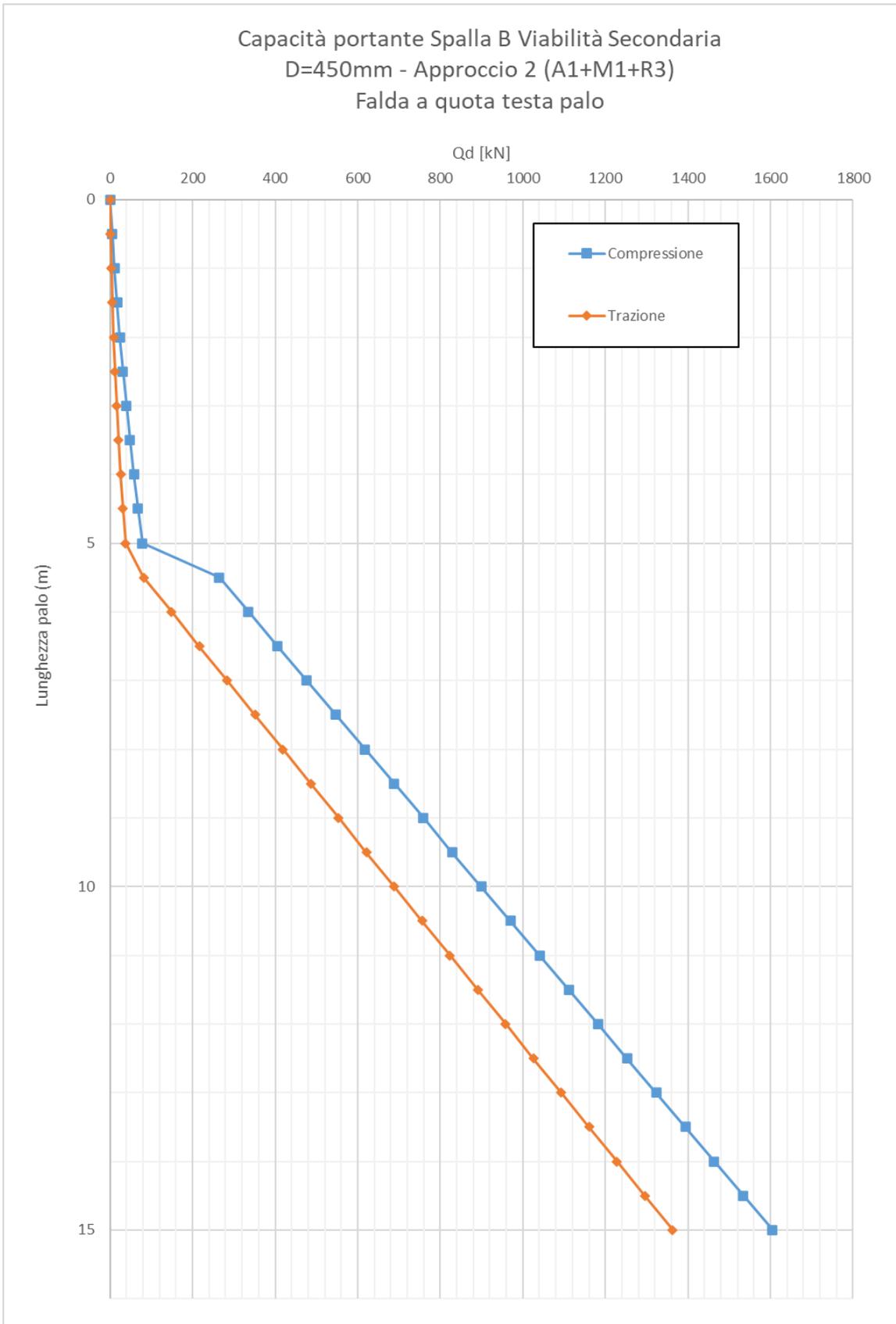
Figura 7-2 – Curve a trazione non fattorizzate

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 | COMPRESIONE | | | |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|-------------|------------|---------|-----------|
| | | | | | | | | 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 | 0.601397064 | 15.08051712 | 15.68191418 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.30762 | 6.5710314 | 1.79 | 5.09 |
| 1 | -1 | 2.405583543 | 30.16103424 | 32.56661778 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.230478 | 13.142063 | 3.58 | 10.79407 |
| 1.5 | -1.5 | 5.412560404 | 45.24155135 | 50.65411176 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.768573 | 19.713094 | 5.37 | 17.11396 |
| 2 | -2 | 9.622333827 | 60.32206847 | 69.9444023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.92191 | 26.284126 | 7.16 | 24.05 |
| 2.5 | -2.5 | 15.03488717 | 75.40258559 | 90.43747276 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.690479 | 32.855157 | 8.95 | 31.59946 |
| 3 | -3 | 21.65022369 | 90.48310271 | 112.1333264 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 11.07428 | 39.426189 | 10.74 | 39.76506 |
| 3.5 | -3.5 | 29.46835375 | 105.5636198 | 135.0319736 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 15.07333 | 45.99722 | 12.52 | 48.5459 |
| 4 | -4 | 38.48930735 | 120.6441369 | 159.1334443 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 19.68763 | 52.568251 | 14.31 | 57.942 |
| 4.5 | -4.5 | 48.71300705 | 135.7246541 | 184.4376611 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 24.91714 | 59.139283 | 16.10 | 67.95331 |
| 5 | -5 | 60.13951018 | 150.8051712 | 210.9446814 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 30.7619 | 65.710314 | 17.89 | 78.57986 |
| 5.5 | -5.5 | 149.8703099 | 477.1293843 | 626.9996942 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 76.66001 | 207.89951 | 19.68 | 264.8779 |
| 6 | -6 | 291.2419228 | 477.1293843 | 768.3713071 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 148.9729 | 207.89951 | 21.47 | 335.4015 |
| 6.5 | -6.5 | 432.6135356 | 477.1293843 | 909.7429199 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 221.2857 | 207.89951 | 23.26 | 405.9252 |
| 7 | -7 | 573.9852333 | 477.1293843 | 1051.114618 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 293.5986 | 207.89951 | 25.05 | 476.4488 |
| 7.5 | -7.5 | 715.3567614 | 477.1293843 | 1192.486146 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 365.9114 | 207.89951 | 26.84 | 546.9724 |
| 8 | -8 | 856.7284873 | 477.1293843 | 1333.857872 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 438.2243 | 207.89951 | 28.63 | 617.496 |
| 8.5 | -8.5 | 998.1000719 | 477.1293843 | 1475.229456 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 510.5371 | 207.89951 | 30.42 | 688.0196 |
| 9 | -9 | 1139.471854 | 477.1293843 | 1616.601239 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 582.8501 | 207.89951 | 32.21 | 758.5433 |
| 9.5 | -9.5 | 1280.843433 | 477.1293843 | 1757.972818 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 655.1629 | 207.89951 | 34.00 | 829.0669 |
| 10 | -10 | 1422.214939 | 477.1293843 | 1899.344323 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 727.4757 | 207.89951 | 35.78 | 899.5905 |
| 10.5 | -10.5 | 1563.586693 | 477.1293843 | 2040.716077 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 799.7886 | 207.89951 | 37.57 | 970.1142 |
| 11 | -11 | 1704.958419 | 477.1293843 | 2182.087803 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 872.1015 | 207.89951 | 39.36 | 1040.638 |
| 11.5 | -11.5 | 1846.330145 | 477.1293843 | 2323.459529 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 944.4144 | 207.89951 | 41.15 | 1111.162 |
| 12 | -12 | 1987.701673 | 477.1293843 | 2464.831057 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1016.727 | 207.89951 | 42.94 | 1181.685 |
| 12.5 | -12.5 | 2129.073258 | 477.1293843 | 2606.202642 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1089.04 | 207.89951 | 44.73 | 1252.209 |
| 13 | -13 | 2270.444984 | 477.1293843 | 2747.574368 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1161.353 | 207.89951 | 46.52 | 1322.732 |
| 13.5 | -13.5 | 2411.816639 | 477.1293843 | 2888.946023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1233.666 | 207.89951 | 48.31 | 1393.256 |
| 14 | -14 | 2553.188379 | 477.1293843 | 3030.317763 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1305.979 | 207.89951 | 50.10 | 1463.78 |
| 14.5 | -14.5 | 2694.560048 | 477.1293843 | 3171.689433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1378.292 | 207.89951 | 51.89 | 1534.303 |
| 15 | -15 | 2835.931576 | 477.1293843 | 3313.060961 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1450.604 | 207.89951 | 53.68 | 1604.827 |

| 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) | Wp (kN) | Qd,t (kN) | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | -0.5 | 0.601397064 | 15.08051712 | 15.68191418 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.28301 | 0.954259 | 1.237269 | |
| 1 | -1 | 2.405583543 | 30.16103424 | 32.56661778 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.132039 | 1.908518 | 3.040557 | |
| 1.5 | -1.5 | 5.412560404 | 45.24155135 | 50.65411176 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.547087 | 2.862776 | 5.409864 | |
| 2 | -2 | 9.622333827 | 60.32206847 | 69.9444023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.528157 | 3.817035 | 8.345192 | |
| 2.5 | -2.5 | 15.03488717 | 75.40258559 | 90.43747276 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.075241 | 4.771294 | 11.84653 | |
| 3 | -3 | 21.65022369 | 90.48310271 | 112.1333264 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 10.18834 | 5.725553 | 15.91389 | |
| 3.5 | -3.5 | 29.46835375 | 105.5636198 | 135.0319736 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 13.86746 | 6.679811 | 20.54727 | |
| 4 | -4 | 38.48930735 | 120.6441369 | 159.1334443 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 18.11262 | 7.63407 | 25.74669 | |
| 4.5 | -4.5 | 48.71300705 | 135.7246541 | 184.4376611 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 22.92377 | 8.588329 | 31.5121 | |
| 5 | -5 | 60.13951018 | 150.8051712 | 210.9446814 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 28.30095 | 9.542588 | 37.84353 | |
| 5.5 | -5.5 | 149.8703099 | 477.1293843 | 626.9996942 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 70.5272 | 10.49685 | 81.02405 | |
| 6 | -6 | 291.2419228 | 477.1293843 | 768.3713071 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 137.055 | 11.45111 | 148.5061 | |
| 6.5 | -6.5 | 432.6135356 | 477.1293843 | 909.7429199 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 203.5828 | 12.40536 | 215.9882 | |
| 7 | -7 | 573.9852333 | 477.1293843 | 1051.114618 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 270.1107 | 13.35962 | 283.4703 | |
| 7.5 | -7.5 | 715.3567614 | 477.1293843 | 1192.486146 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 336.6385 | 14.31388 | 350.9524 | |
| 8 | -8 | 856.7284873 | 477.1293843 | 1333.857872 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 403.1663 | 15.26814 | 418.4345 | |
| 8.5 | -8.5 | 998.1000719 | 477.1293843 | 1475.229456 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 469.6942 | 16.2224 | 485.9166 | |
| 9 | -9 | 1139.471854 | 477.1293843 | 1616.601239 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 536.222 | 17.17666 | 553.3987 | |
| 9.5 | -9.5 | 1280.843433 | 477.1293843 | 1757.972818 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 602.7499 | 18.13092 | 620.8808 | |
| 10 | -10 | 1422.214939 | 477.1293843 | 1899.344323 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 669.2776 | 19.08518 | 688.3628 | |
| 10.5 | -10.5 | 1563.586693 | 477.1293843 | 2040.716077 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 735.8055 | 20.03943 | 755.8449 | |
| 11 | -11 | 1704.958419 | 477.1293843 | 2182.087803 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 802.3334 | 20.99369 | 823.3271 | |
| 11.5 | -11.5 | 1846.330145 | 477.1293843 | 2323.459529 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 868.8612 | 21.94795 | 890.8092 | |
| 12 | -12 | 1987.701673 | 477.1293843 | 2464.831057 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 935.389 | 22.90221 | 958.2912 | |
| 12.5 | -12.5 | 2129.073258 | 477.1293843 | 2606.202642 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1001.917 | 23.85647 | 1025.773 | |
| 13 | -13 | 2270.444984 | 477.1293843 | 2747.574368 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1068.445 | 24.81073 | 1093.255 | |
| 13.5 | -13.5 | 2411.816639 | 477.1293843 | 2888.946023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1134.973 | 25.76499 | 1160.738 | |
| 14 | -14 | 2553.188379 | 477.1293843 | 3030.317763 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1201.5 | 26.71925 | 1228.22 | |
| 14.5 | -14.5 | 2694.560048 | 477.1293843 | 3171.689433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1268.028 | 27.6735 | 1295.702 | |
| 15 | -15 | 2835.931576 | 477.1293843 | 3313.060961 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1334.556 | 28.62776 | 1363.184 | |

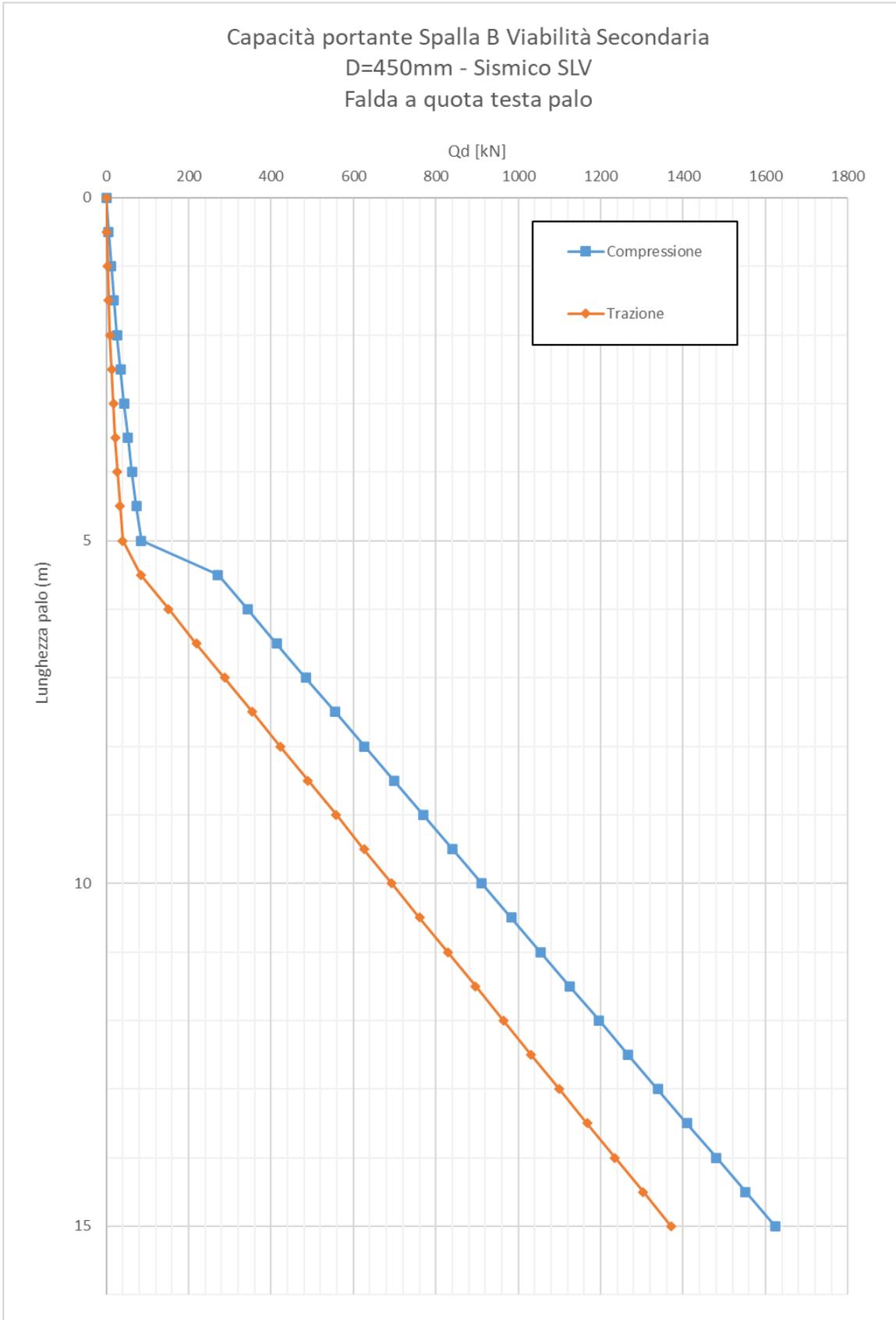


PROGETTAZIONE ATI:

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 | COMPRESIONE | | | |
|--------------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------|-------|------|-------------|------------|---------|-----------|
| | | | | | | | | 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 | 0.601397064 | 15.08051712 | 15.68191418 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.30762 | 6.5710314 | 1.19 | 5.69 |
| 1 | -1 | 2.405583543 | 30.16103424 | 32.56661778 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.230478 | 13.142063 | 2.39 | 11.98689 |
| 1.5 | -1.5 | 5.412560404 | 45.24155135 | 50.65411176 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.768573 | 19.713094 | 3.58 | 18.9032 |
| 2 | -2 | 9.622333827 | 60.32206847 | 69.9444023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.92191 | 26.284126 | 4.77 | 26.43 |
| 2.5 | -2.5 | 15.03488717 | 75.40258559 | 90.43747276 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.690479 | 32.855157 | 5.96 | 34.58152 |
| 3 | -3 | 21.65022369 | 90.48310271 | 112.1333264 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 11.07428 | 39.426189 | 7.16 | 43.34353 |
| 3.5 | -3.5 | 29.46835375 | 105.5636198 | 135.0319736 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 15.07333 | 45.99722 | 8.35 | 52.72078 |
| 4 | -4 | 38.48930735 | 120.6441369 | 159.1334443 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 19.68763 | 52.568251 | 9.54 | 62.71329 |
| 4.5 | -4.5 | 48.71300705 | 135.7246541 | 184.4376611 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 24.91714 | 59.139283 | 10.74 | 73.32101 |
| 5 | -5 | 60.13951018 | 150.8051712 | 210.9446814 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 30.7619 | 65.710314 | 11.93 | 84.54398 |
| 5.5 | -5.5 | 149.8703099 | 477.1293843 | 626.9996942 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 76.66001 | 207.89951 | 13.12 | 271.4385 |
| 6 | -6 | 291.2419228 | 477.1293843 | 768.3713071 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 148.9729 | 207.89951 | 14.31 | 342.5585 |
| 6.5 | -6.5 | 432.6135356 | 477.1293843 | 909.7429199 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 221.2857 | 207.89951 | 15.51 | 413.6785 |
| 7 | -7 | 573.9852333 | 477.1293843 | 1051.114618 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 293.5986 | 207.89951 | 16.70 | 484.7986 |
| 7.5 | -7.5 | 715.3567614 | 477.1293843 | 1192.486146 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 365.9114 | 207.89951 | 17.89 | 555.9185 |
| 8 | -8 | 856.7284873 | 477.1293843 | 1333.857872 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 438.2243 | 207.89951 | 19.09 | 627.0386 |
| 8.5 | -8.5 | 998.1000719 | 477.1293843 | 1475.229456 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 510.5371 | 207.89951 | 20.28 | 698.1586 |
| 9 | -9 | 1139.471854 | 477.1293843 | 1616.601239 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 582.8501 | 207.89951 | 21.47 | 769.2787 |
| 9.5 | -9.5 | 1280.843433 | 477.1293843 | 1757.972818 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 655.1629 | 207.89951 | 22.66 | 840.3987 |
| 10 | -10 | 1422.214939 | 477.1293843 | 1899.344323 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 727.4757 | 207.89951 | 23.86 | 911.5187 |
| 10.5 | -10.5 | 1563.586693 | 477.1293843 | 2040.716077 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 799.7886 | 207.89951 | 25.05 | 982.6388 |
| 11 | -11 | 1704.958419 | 477.1293843 | 2182.087803 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 872.1015 | 207.89951 | 26.24 | 1053.759 |
| 11.5 | -11.5 | 1846.330145 | 477.1293843 | 2323.459529 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 944.4144 | 207.89951 | 27.43 | 1124.879 |
| 12 | -12 | 1987.701673 | 477.1293843 | 2464.831057 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1016.727 | 207.89951 | 28.63 | 1195.999 |
| 12.5 | -12.5 | 2129.073258 | 477.1293843 | 2606.202642 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1089.04 | 207.89951 | 29.82 | 1267.119 |
| 13 | -13 | 2270.444984 | 477.1293843 | 2747.574368 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1161.353 | 207.89951 | 31.01 | 1338.239 |
| 13.5 | -13.5 | 2411.816639 | 477.1293843 | 2888.946023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1233.666 | 207.89951 | 32.21 | 1409.359 |
| 14 | -14 | 2553.188379 | 477.1293843 | 3030.317763 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1305.979 | 207.89951 | 33.40 | 1480.479 |
| 14.5 | -14.5 | 2694.560048 | 477.1293843 | 3171.689433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1378.292 | 207.89951 | 34.59 | 1551.599 |
| 15 | -15 | 2835.931576 | 477.1293843 | 3313.060961 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1450.604 | 207.89951 | 35.78 | 1622.719 |

| 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) | Wp (kN) | Qd,t (kN) | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.5 | -0.5 | 0.601397064 | 15.08051712 | 15.68191418 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 0.28301 | 1.192823 | 1.475834 | 1.475834 |
| 1 | -1 | 2.405583543 | 30.16103424 | 32.56661778 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1.132039 | 2.385647 | 3.517686 | 3.517686 |
| 1.5 | -1.5 | 5.412560404 | 45.24155135 | 50.65411176 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 2.547087 | 3.57847 | 6.125558 | 6.125558 |
| 2 | -2 | 9.622333827 | 60.32206847 | 69.9444023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 4.528157 | 4.771294 | 9.299451 | 9.299451 |
| 2.5 | -2.5 | 15.03488717 | 75.40258559 | 90.43747276 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 7.075241 | 5.964117 | 13.03936 | 13.03936 |
| 3 | -3 | 21.65022369 | 90.48310271 | 112.1333264 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 10.18834 | 7.156941 | 17.34528 | 17.34528 |
| 3.5 | -3.5 | 29.46835375 | 105.5636198 | 135.0319736 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 13.86746 | 8.349764 | 22.21722 | 22.21722 |
| 4 | -4 | 38.48930735 | 120.6441369 | 159.1334443 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 18.11262 | 9.542588 | 27.6552 | 27.6552 |
| 4.5 | -4.5 | 48.71300705 | 135.7246541 | 184.4376611 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 22.92377 | 10.73541 | 33.65918 | 33.65918 |
| 5 | -5 | 60.13951018 | 150.8051712 | 210.9446814 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 28.30095 | 11.92823 | 40.22918 | 40.22918 |
| 5.5 | -5.5 | 149.8703099 | 477.1293843 | 626.9996942 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 70.5272 | 13.12106 | 83.64826 | 83.64826 |
| 6 | -6 | 291.2419228 | 477.1293843 | 768.3713071 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 137.055 | 14.31388 | 151.3689 | 151.3689 |
| 6.5 | -6.5 | 432.6135356 | 477.1293843 | 909.7429199 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 203.5828 | 15.5067 | 219.0895 | 219.0895 |
| 7 | -7 | 573.9852333 | 477.1293843 | 1051.114618 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 270.1107 | 16.69953 | 286.8102 | 286.8102 |
| 7.5 | -7.5 | 715.3567614 | 477.1293843 | 1192.486146 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 336.6385 | 17.89235 | 354.5308 | 354.5308 |
| 8 | -8 | 856.7284873 | 477.1293843 | 1333.857872 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 403.1663 | 19.08518 | 422.2515 | 422.2515 |
| 8.5 | -8.5 | 998.1000719 | 477.1293843 | 1475.229456 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 469.6942 | 20.278 | 489.9722 | 489.9722 |
| 9 | -9 | 1139.471854 | 477.1293843 | 1616.601239 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 536.222 | 21.47082 | 557.6929 | 557.6929 |
| 9.5 | -9.5 | 1280.843433 | 477.1293843 | 1757.972818 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 602.7499 | 22.66365 | 625.4135 | 625.4135 |
| 10 | -10 | 1422.214939 | 477.1293843 | 1899.344323 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 669.2776 | 23.85647 | 693.1341 | 693.1341 |
| 10.5 | -10.5 | 1563.586693 | 477.1293843 | 2040.716077 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 735.8055 | 25.04929 | 760.8548 | 760.8548 |
| 11 | -11 | 1704.958419 | 477.1293843 | 2182.087803 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 802.3334 | 26.24212 | 828.5755 | 828.5755 |
| 11.5 | -11.5 | 1846.330145 | 477.1293843 | 2323.459529 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 868.8612 | 27.43494 | 896.2962 | 896.2962 |
| 12 | -12 | 1987.701673 | 477.1293843 | 2464.831057 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 935.389 | 28.62776 | 964.0168 | 964.0168 |
| 12.5 | -12.5 | 2129.073258 | 477.1293843 | 2606.202642 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1001.917 | 29.82059 | 1031.737 | 1031.737 |
| 13 | -13 | 2270.444984 | 477.1293843 | 2747.574368 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1068.445 | 31.01341 | 1099.458 | 1099.458 |
| 13.5 | -13.5 | 2411.816639 | 477.1293843 | 2888.946023 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1134.973 | 32.20623 | 1167.179 | 1167.179 |
| 14 | -14 | 2553.188379 | 477.1293843 | 3030.317763 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1201.5 | 33.39906 | 1234.899 | 1234.899 |
| 14.5 | -14.5 | 2694.560048 | 477.1293843 | 3171.689433 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1268.028 | 34.59188 | 1302.62 | 1302.62 |
| 15 | -15 | 2835.931576 | 477.1293843 | 3313.060961 | 1.955 | 2.13 | 2.30 | 1334.556 | 35.7847 | 1370.341 | 1370.341 |



PROGETTAZIONE ATI:

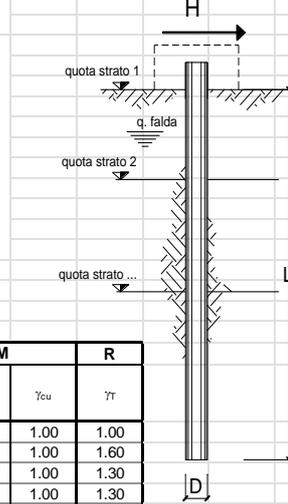
Carico limite orizzontale

Per il calcolo del momento plastico si è fatto riferimento all'armatura riportata nella specifica relazione di calcolo delle strutture. La armatura è costituita da un tubo in acciaio $\phi=298.5$ mm con spessore uguale a 35 mm.

$M_{plas} = 700$ 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 $\sigma_{lim} = K_v \cdot \sigma_{v0}' + K_c \cdot c$. 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 γ_G | variabili γ_Q | γ_ϕ | γ_c | γ_τ |
| S/LU | A1+M1+R1 | <input type="radio"/> | 1.30 | 1.50 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | A2+M1+R2 | <input type="radio"/> | 1.00 | 1.30 | 1.00 | 1.00 | 1.60 |
| | A1+M1+R3 | <input type="radio"/> | 1.30 | 1.50 | 1.00 | 1.00 | 1.30 |
| | SISMA | <input type="radio"/> | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.30 |
| DM88 | | <input type="radio"/> | 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_3 | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| ξ_4 | 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 ³] | Parametri medi | | Parametri minimi | | |
|-------------------------------------|-------------|-----------|-------------------------------|----------------|---------|------------------|---------|-----|
| | | | | ϕ [°] | c [kPa] | ϕ [°] | c [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 | 94.80 | 23.5 | 28.5 | 40 | 28.5 | 40 |
| <input type="checkbox"/> | strato 3 | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | strato 4 | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | strato 5 | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | strato 6 | | | | | | | |

z_w 100 [m] Quota falda
 q 0 [kPa] Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni)
 M_u 700 [kNm] Momento ultimo della sezione
 D 0.45 [m] Diametro del palo
 L 12 [m] Lunghezza del palo

Risultati:

| | H medio | | H minimo | |
|---|------------|------------|-------------|-----------------------|
| Palo lungo | 537 (kN) | | 537 (kN) | |
| Palo intermedio | 2939 (kN) | | 2939 (kN) | |
| Palo corto | 9428 (kN) | | 9428 (kN) | |
| H_{med} | 537 (kN) | Palo lungo | H_{min} | 536.5 (kN) Palo lungo |
| $H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$ | | | 315.60 (kN) | |
| $H_d = H_k/\gamma_T$ | | | 242.77 (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) | |
| $FS = H_d / F_d =$ | | | 242.77 | |

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

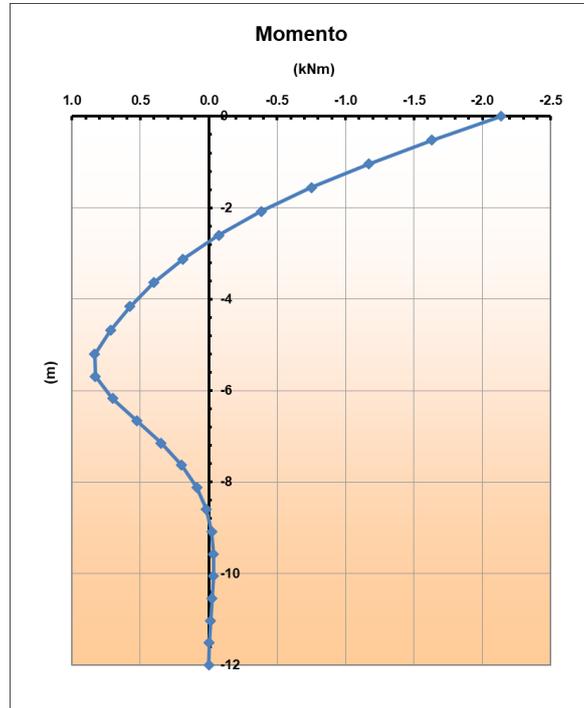


Figura 7-3 – Momento flettente agente per carico unitario

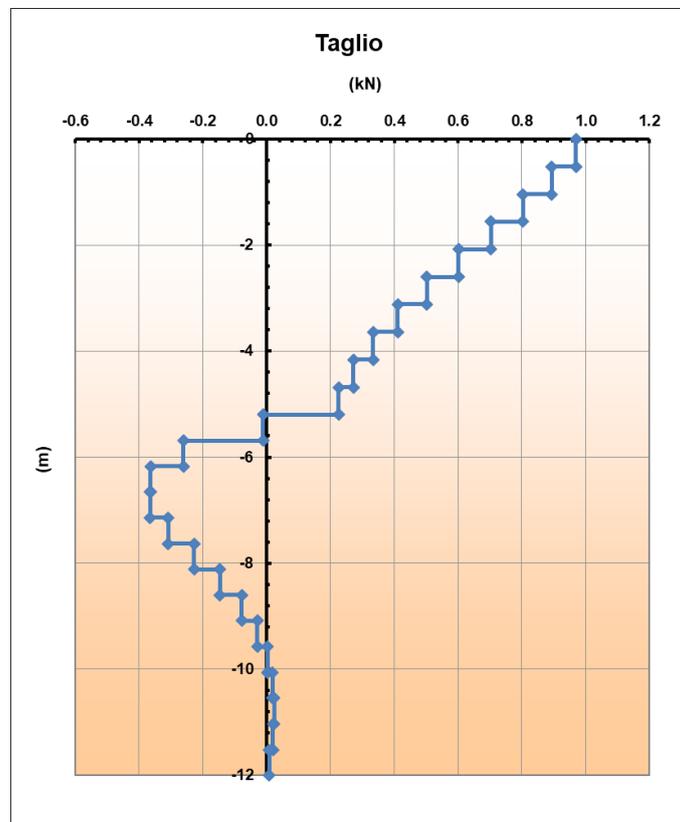


Figura 7-4 – Taglio agente per carico unitario

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

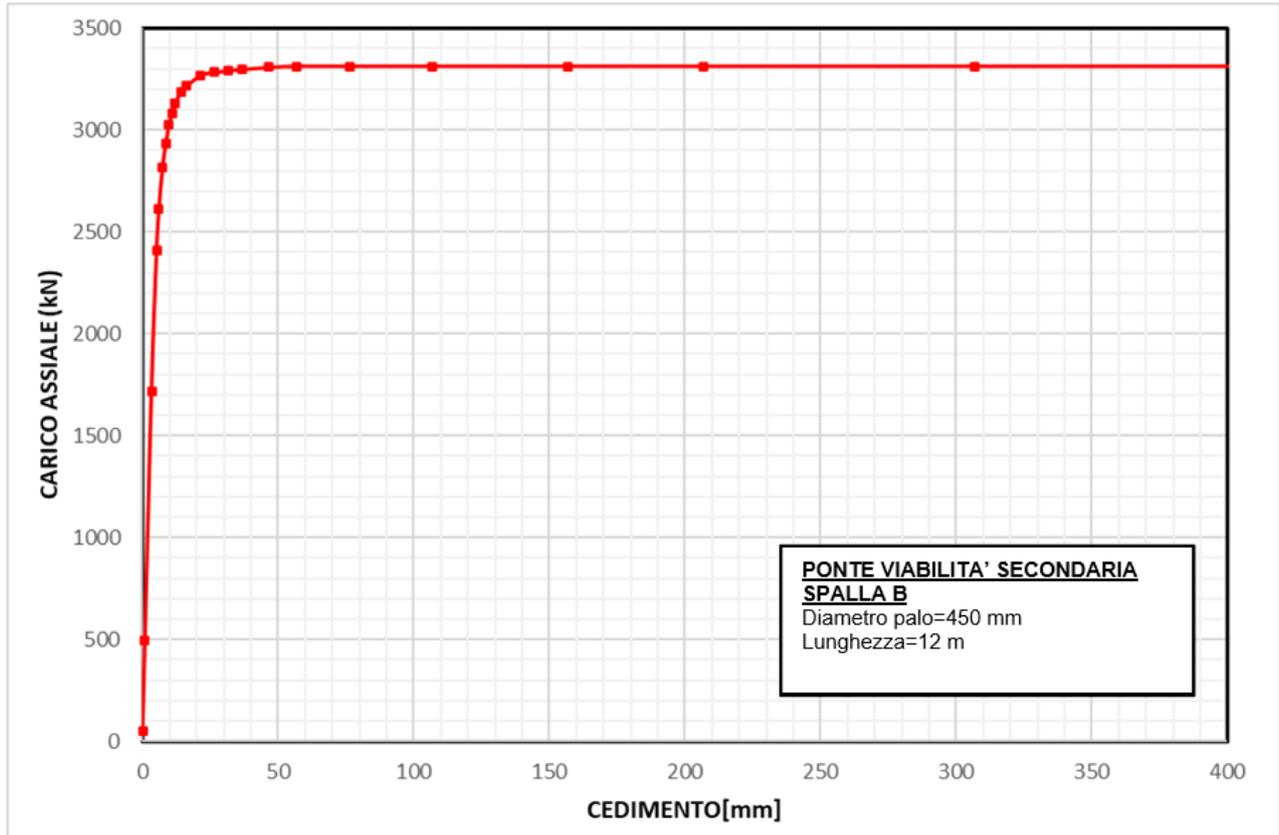


Figura 7-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI: