

## 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 Panfili</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><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p><b>cooprogetti</b> <b>cocoprogetti</b></p> <p><b>engeko</b></p> <p><b>AIM</b> 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 alla progr. Km 0+500

Relazione di calcolo delle fondazioni

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00VI01GETRE01_B		
<b>DPAN247</b>	<b>D</b>	<b>22</b>	CODICE ELAB. <b>T00VI01GETRE01</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>
4.1.	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
<b>5.</b>	<b><u>RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI.....</u></b>	<b><u>11</u></b>
<b>6.</b>	<b><u>PONTE ALLA PROGR. KM 0+495.80 SPALLA A .....</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b>7.</b>	<b><u>PONTE ALLA PROGR. KM 0+495.80 SPALLA B .....</u></b>	<b><u>20</u></b>

## **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 alla pk 0+495.80.

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. T00VI01STRRE01].

## **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**

[T00VI01STRRE01] Relazione tecnica e di calcolo opere d'arte maggiori viadotti e ponti – ponte alla progr. Km 0+495.80.

### 3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Le fondazioni 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	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$c'_{res*}$ (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 <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:

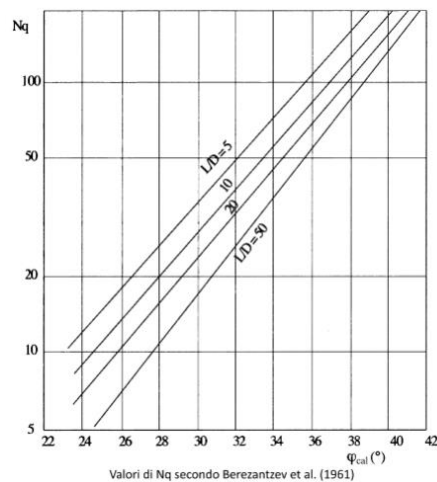
$A_p$  = area della base del palo

$q_{bl}$  = 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 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  $\sigma'_z$  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:

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

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

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

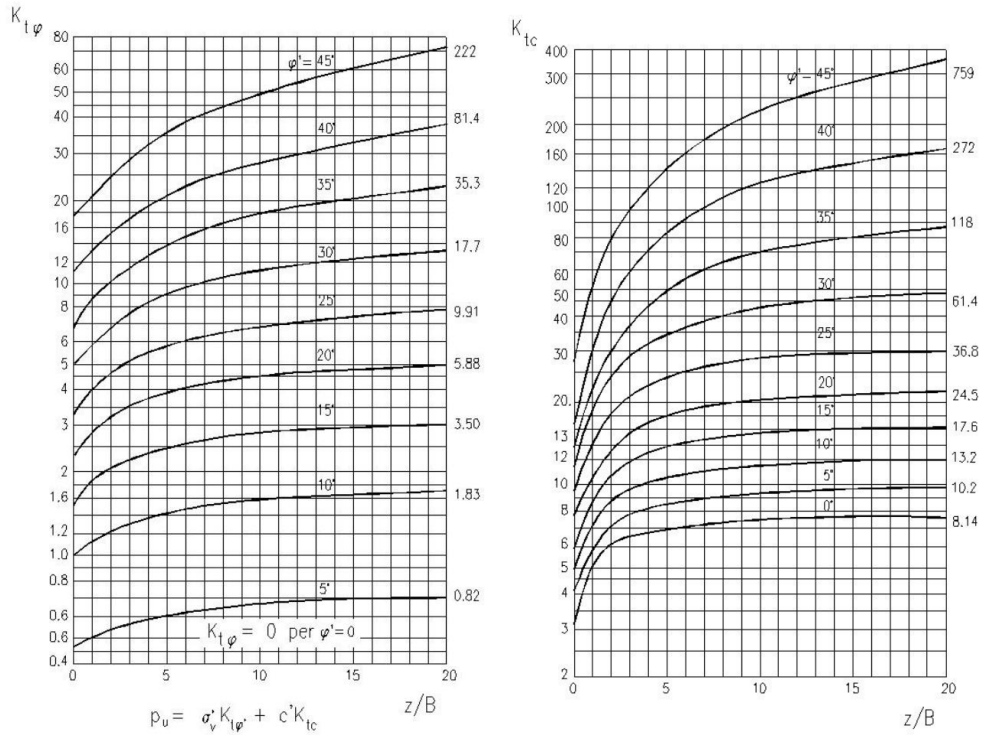
$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

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

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

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 orientativi 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.

#### 4.1. CALCOLO DEI CEDIMENTI

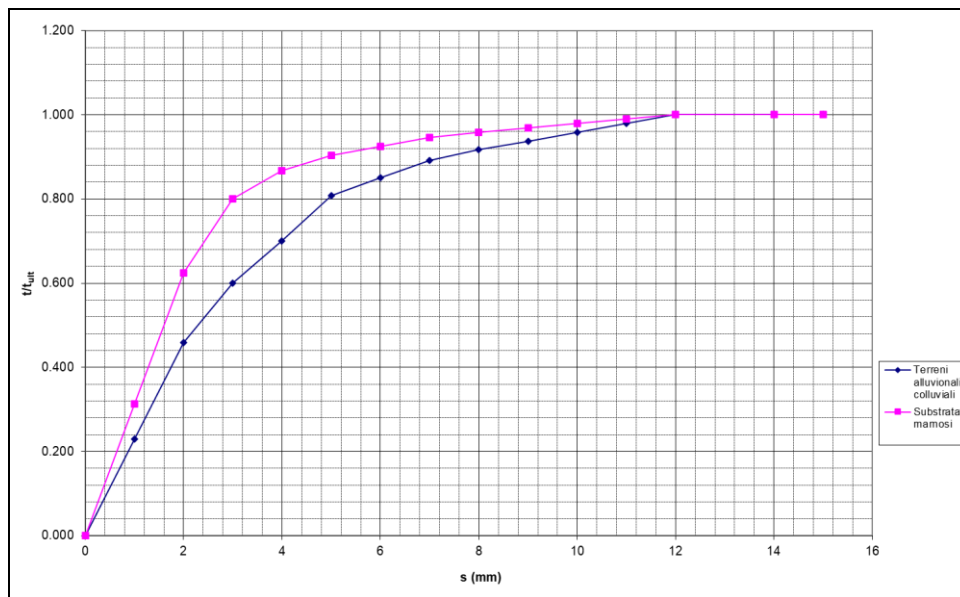
La valutazione della curva carico-cedimento del palo è stata effettuata con il metodo delle curve di trasferimento (t-s e q-s).

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

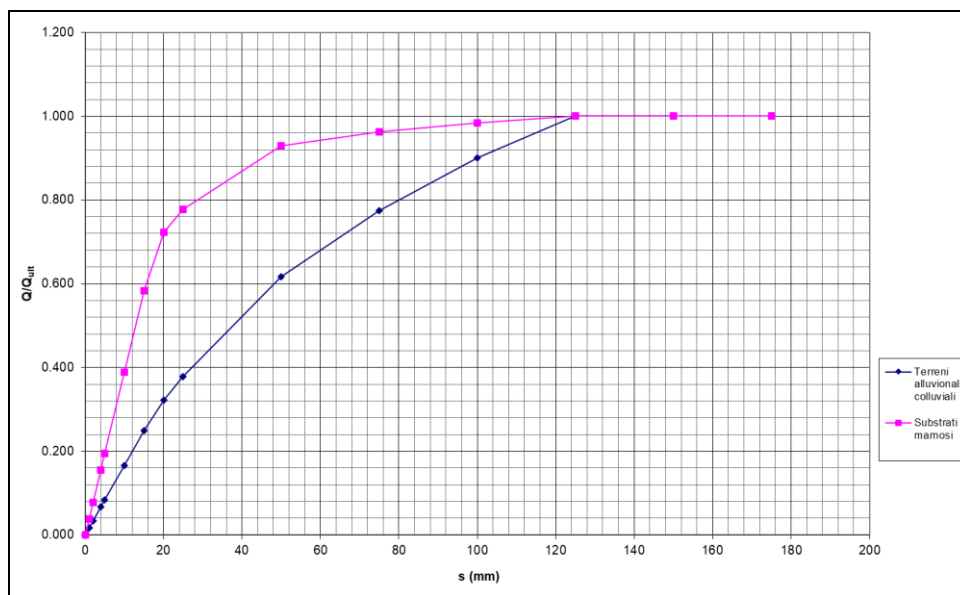
PROGETTAZIONE ATI:

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**

## 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 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	1168.52	990.00	1.18	1182.83	725.00	1.63
Spalla B	1181.68	990.00	1.19	1195.99	725.00	1.65

### 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	946.17	-	-	951.90	-	-
Spalla B	958.29	-	-	964.01	-	-

### Verifica a carico trasversale

FONDAZIONE	CARICO LIMITE ORIZZONTALE SLU-SLV [kN]	CARICO MAX DI PROGETTO ORIZZONTALE SLU[kN]	FS
Spalla A	255.67	201.00	1.27
Spalla B	255.67	201.00	1.27

### Cedimenti

FONDAZIONE	CARICO MASSIMO VERTICALE SLE[kN]	CEDIMENTO [MM]
Spalla A	755	1.43
Spalla B	775	1.44

## 6. PONTE ALLA PROGR. KM 0+495.80 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]	$N_q$ [-]	$Q_{b,lim}$ [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.

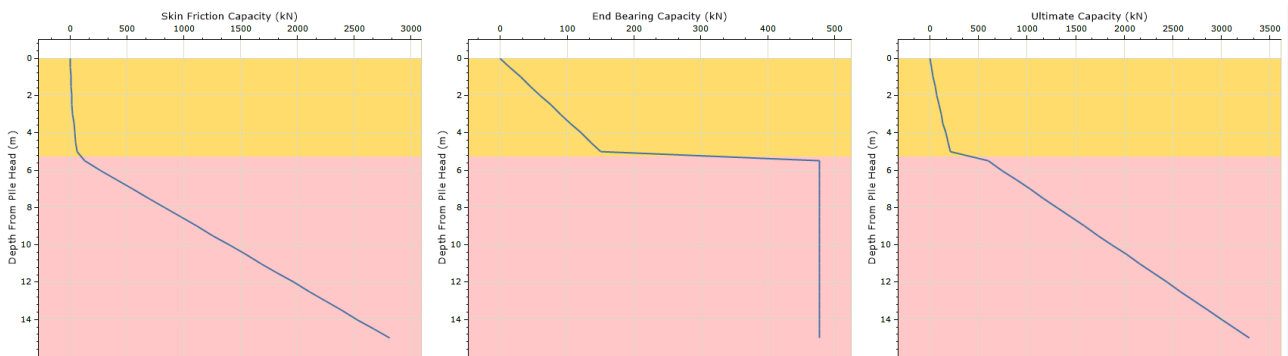


Figura 6-1 – Curve a compressione non fattorizzate

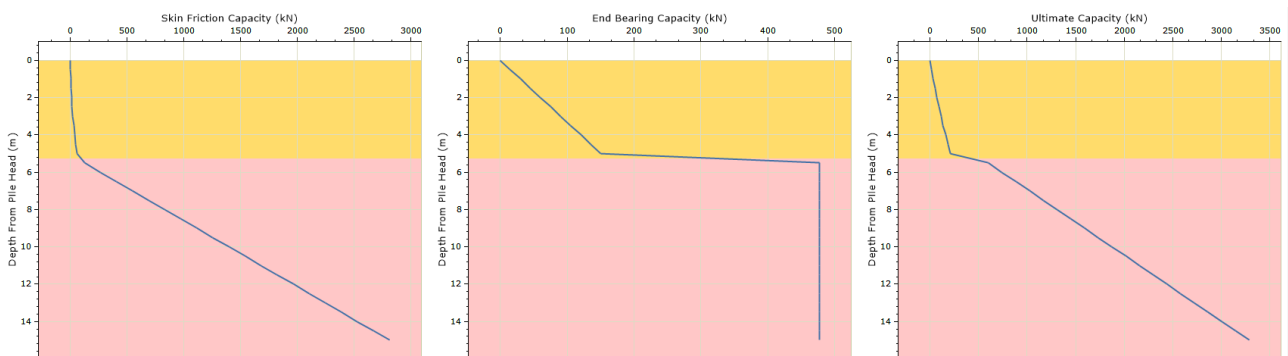


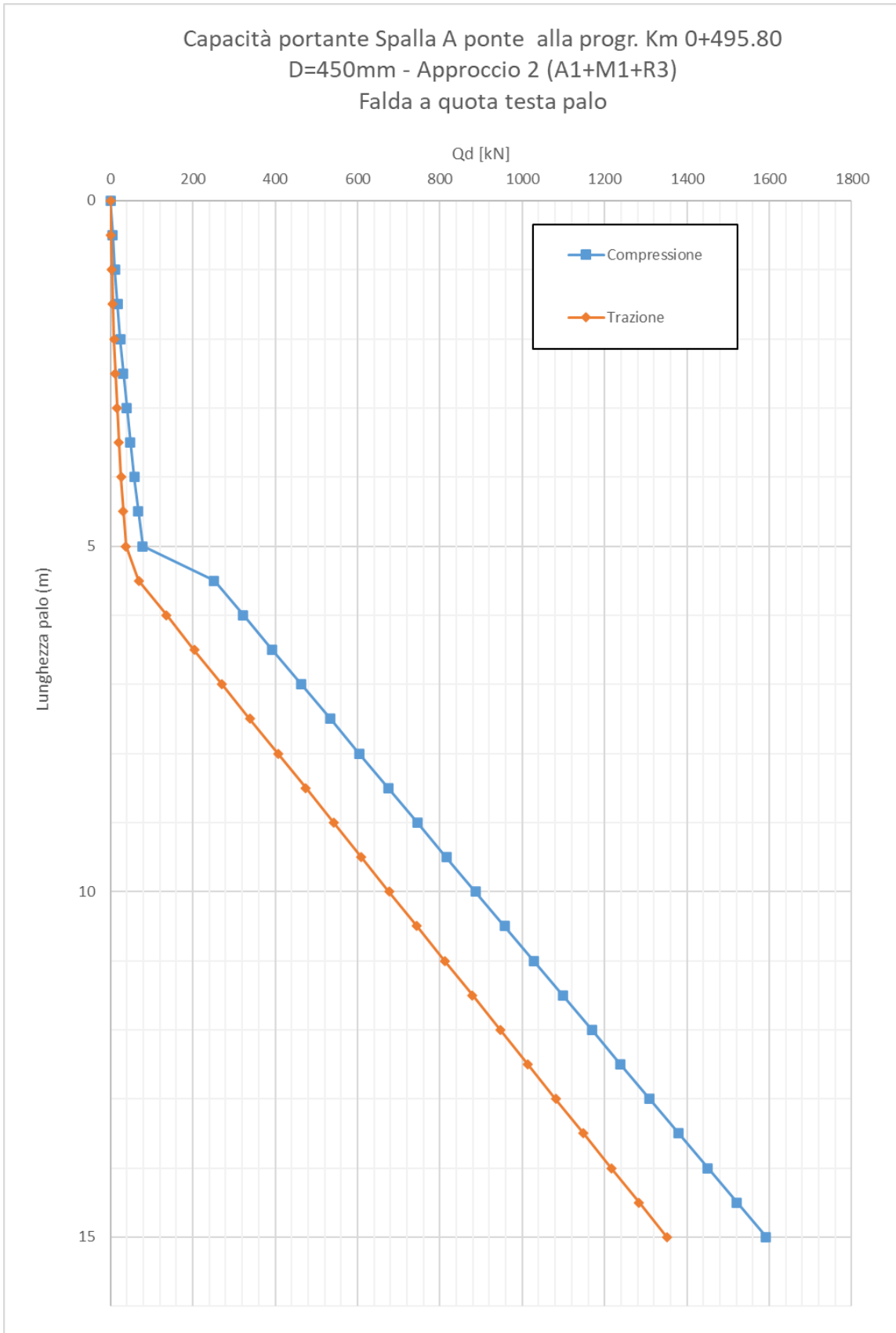
Figura 6-2 – Curve a trazione non fattorizzate

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:

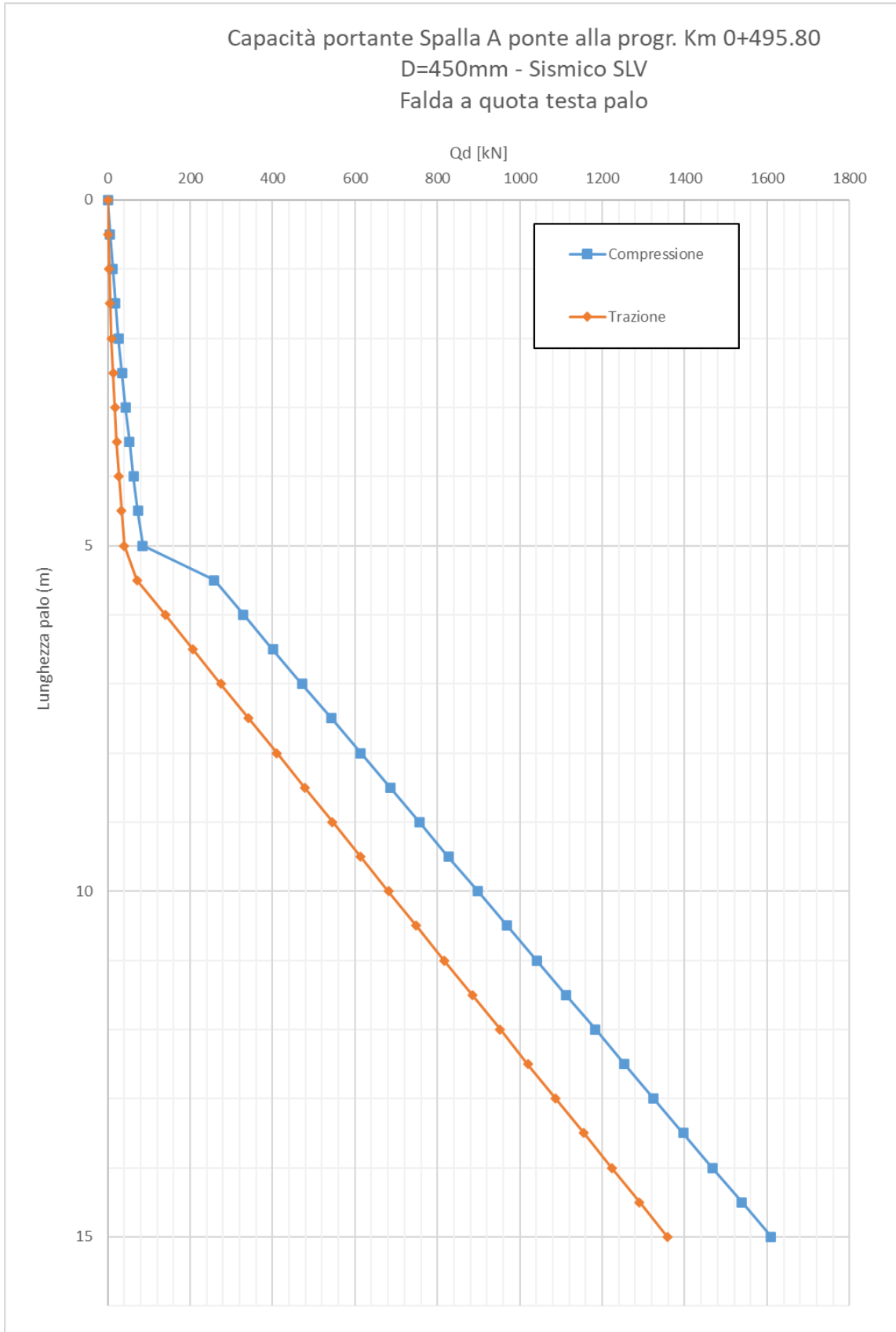


Si riporta il calcolo della capacità portante in funzione della lunghezza del palo (SLV):

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	684.9895
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	



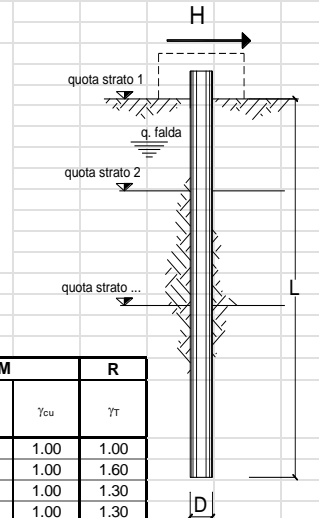


PROGETTAZIONE ATI:

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.

$M_{plas} = 759$  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 $\sigma_{lim} = K_o \cdot \sigma_{vo}' + K_c \cdot c$ . 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).								
<b>Input:</b>										
		coefficienti parziali		A		M		R		
		Metodo di calcolo		permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_F$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_r$		
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	$\geq 10$	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]		
		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)							
$M_u$	759	[kNm]	Momento ultimo della sezione							
D	0.45	[m]	Diametro del palo							
L	12	[m]	Lunghezza del palo							
<b>Risultati:</b>										
		<b>H medio</b>			<b>H minimo</b>					
Palo lungo	565	(kN)				565	(kN)			
Palo intermedio	2911	(kN)				2911	(kN)			
Palo corto	9364	(kN)				9364	(kN)			
$H_{med}$	565	(kN)	Palo lungo			$H_{min}$	565.0	(kN)	Palo lungo	
$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$					332.37 (kN)					
$H_d = H_k/\gamma_r$					255.67 (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)					
$FS = H_d / F_d =$					255.67					

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

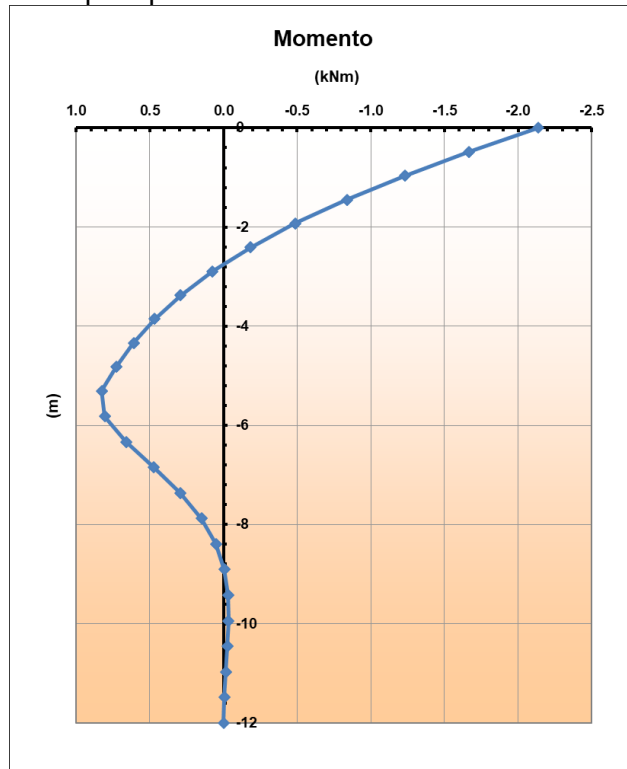


Figura 6-3 – Momento flettente agente per carico unitario

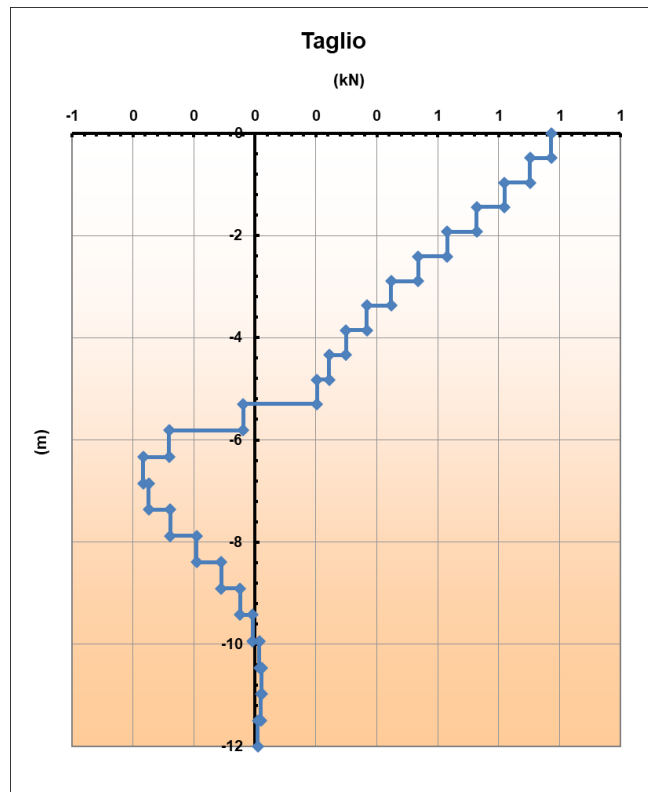


Figura 6-4 – Taglio agente per carico unitario

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

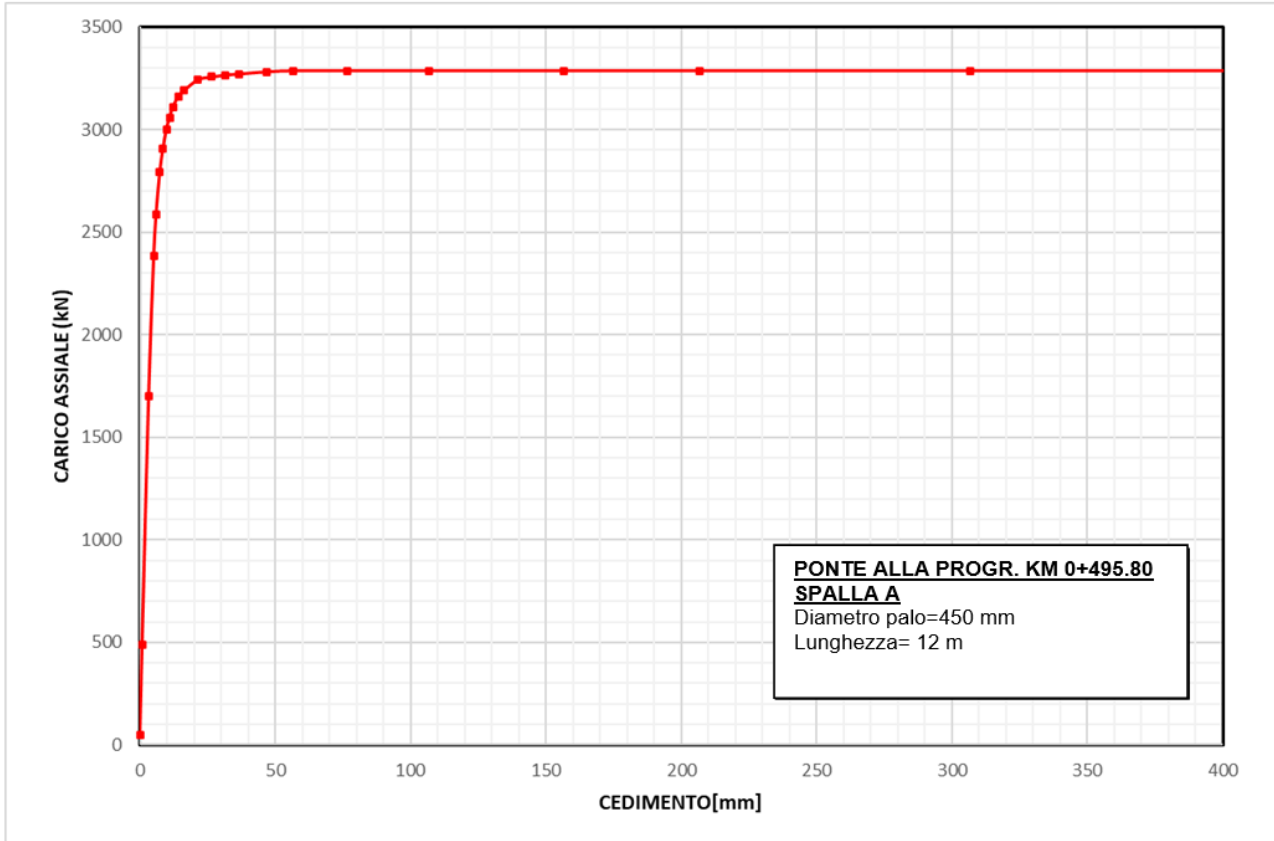


Figura 6-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 7. PONTE ALLA PROGR. KM 0+495.80 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.

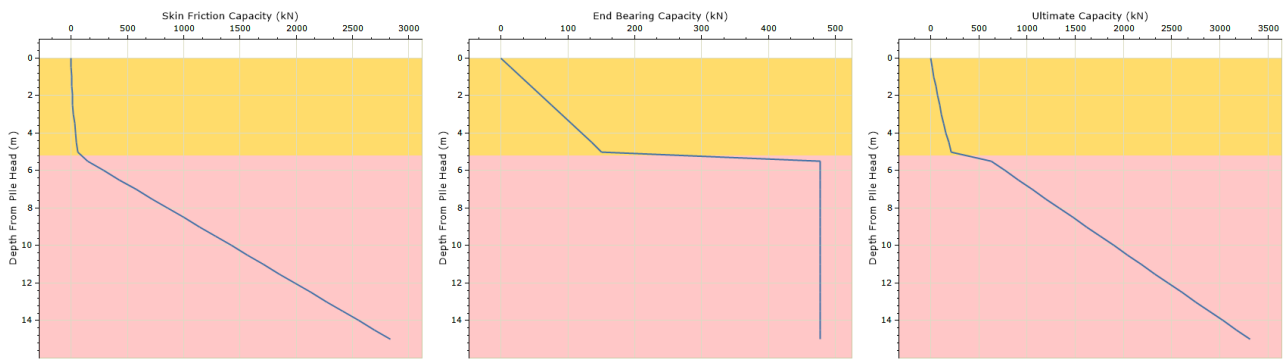


Figura 7-1 – Curve a compressione non fattorizzate

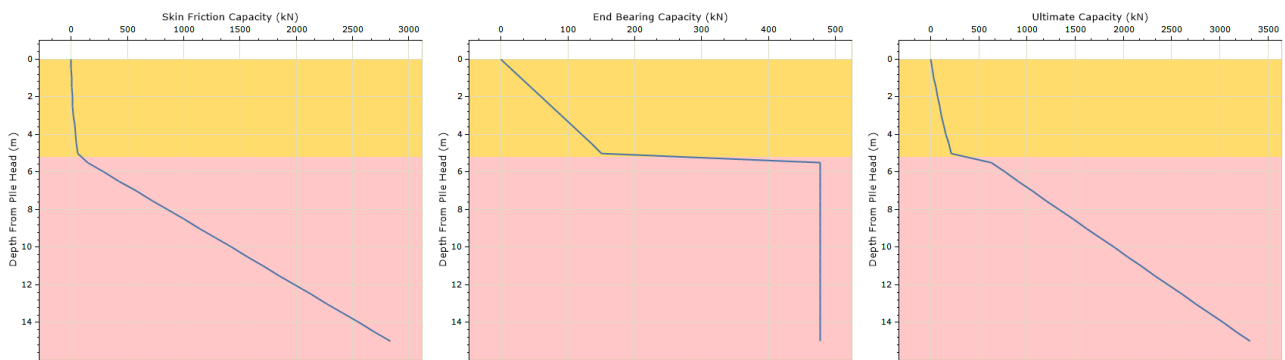


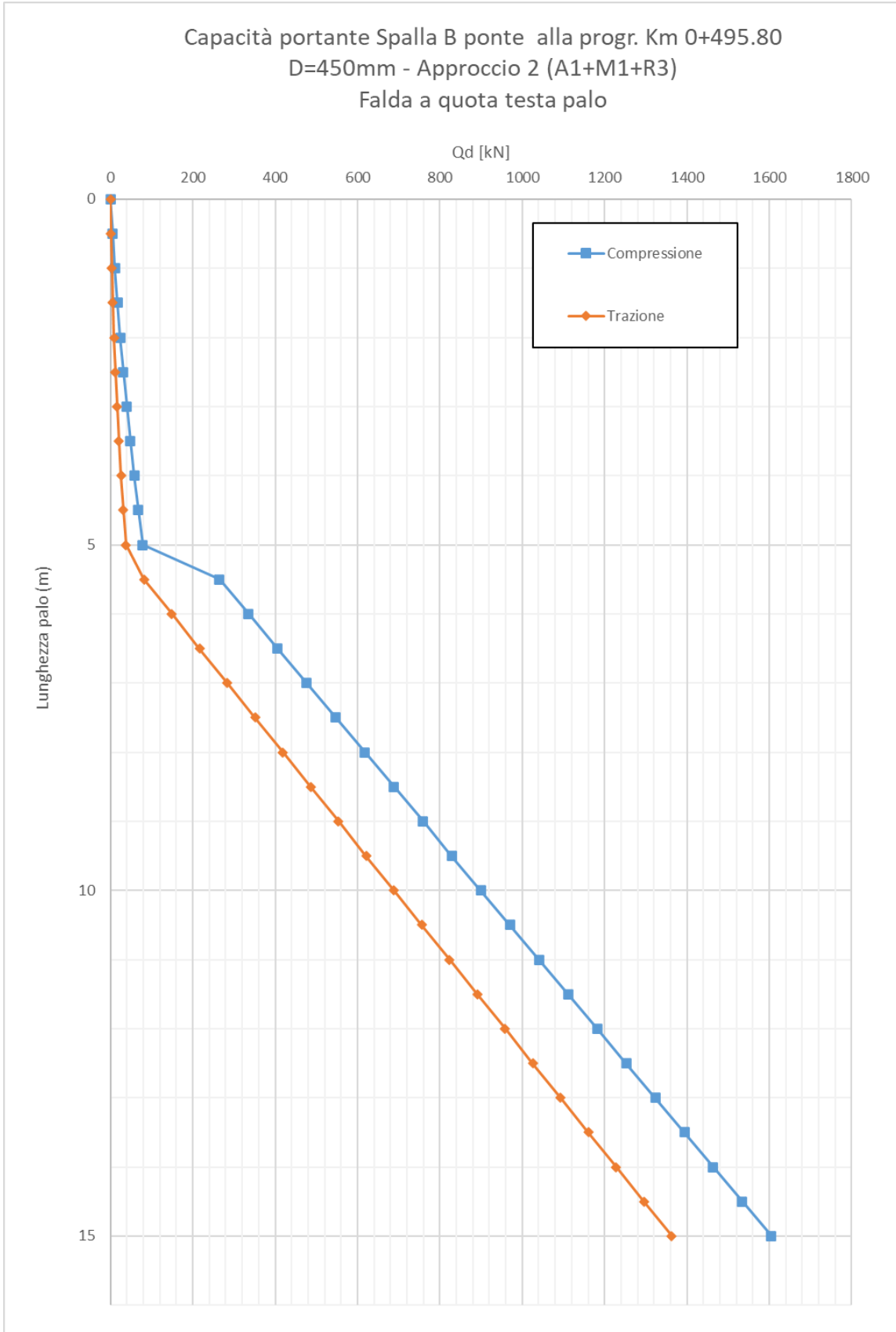
Figura 7-2 – Curve a trazione non fattorizzate

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	
0.5	-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	



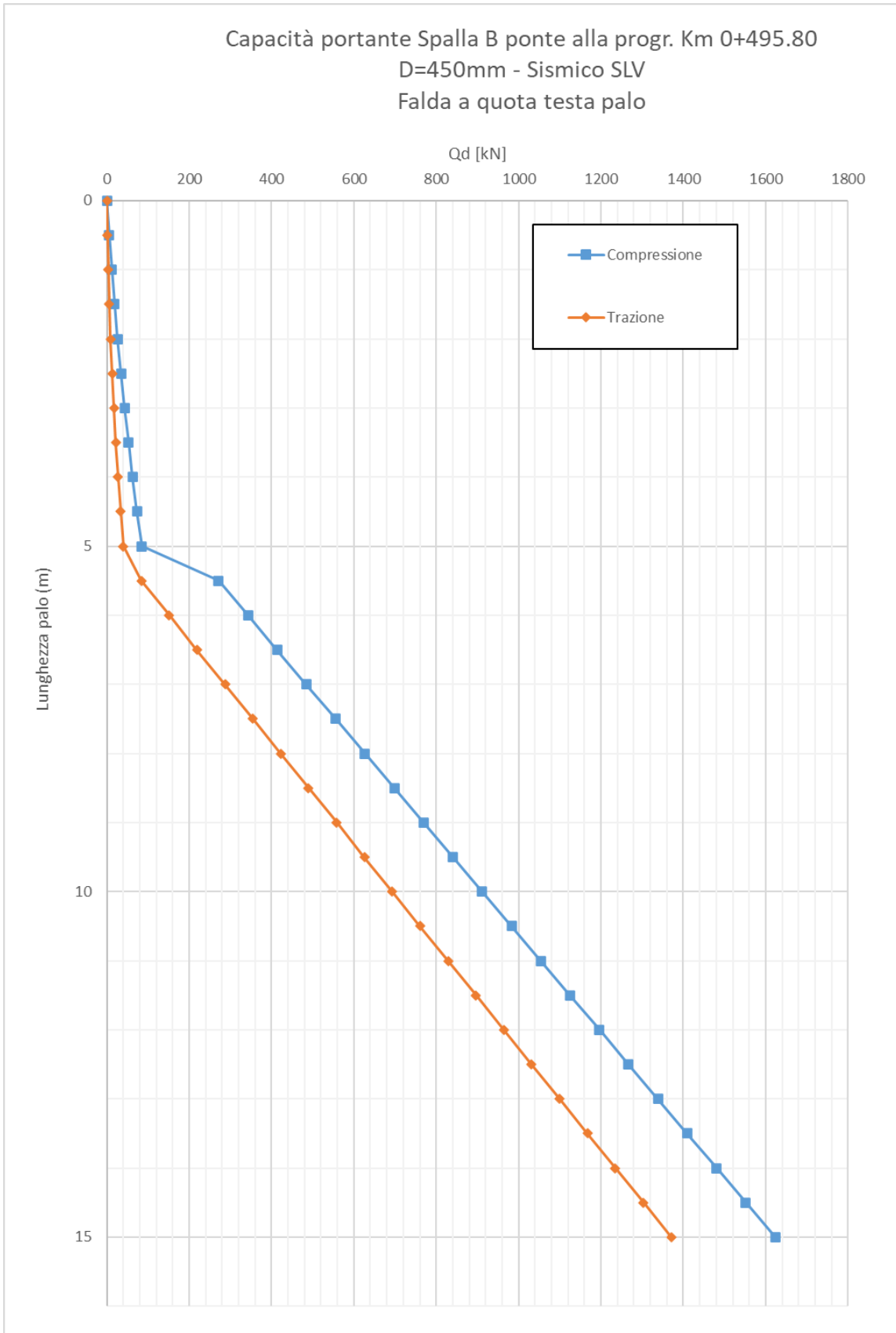
PROGETTAZIONE ATI:

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	7.96	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.

$M_{plas} = 759$  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 $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\phi}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$	
SU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		○	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		●	1.00	1.00	1.00	2.00	1.30

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	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-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							

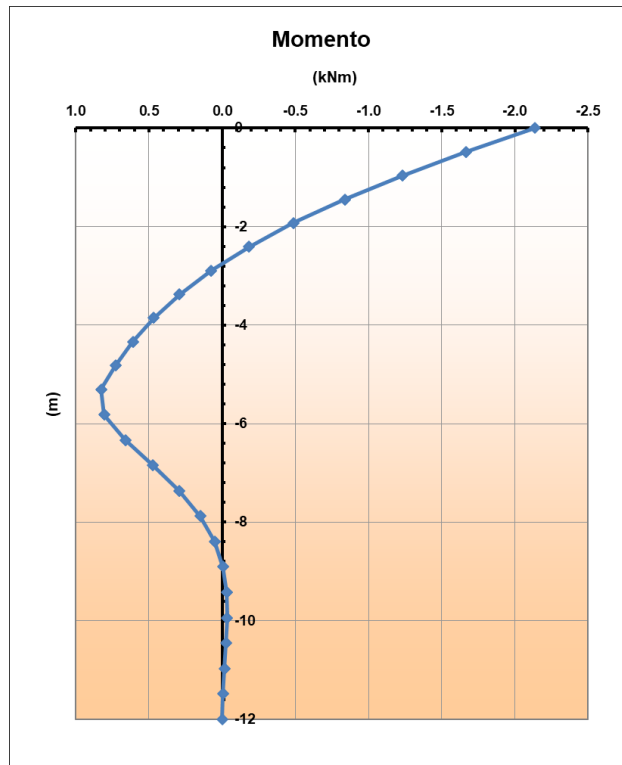
$Z_w$	100	[m]	Quota falda
q	0	[kPa]	Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni)
Mu	759	[kNm]	Momento ultimo della sezione
D	0.45	[m]	Diametro del palo
L	12	[m]	Lunghezza del palo

**Risultati:**

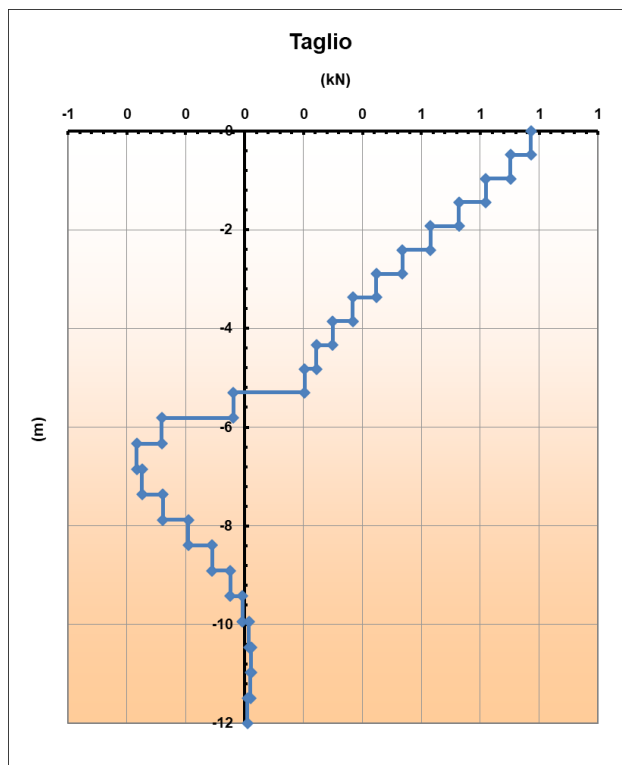
	H medio		H minimo	
Palo lungo	565 (kN)		565 (kN)	
Palo intermedio	2944 (kN)		2944 (kN)	
Palo corto	9428 (kN)		9428 (kN)	
<b>H<sub>med</sub></b>	<b>565 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>565.0 (kN)</b>
<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/<math>\xi_3</math> ; R<sub>min</sub>/<math>\xi_4</math>)</b>				332.37 (kN)
<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/<math>\gamma_T</math></b>				255.67 (kN)
Carico Assiale Permanente (G):	G =	1 (kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0 (kN)		
<b>F<sub>d</sub> = G · <math>\gamma_G</math> + Q · <math>\gamma_Q</math> =</b>				1.00 (kN)
<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>				255.67

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.

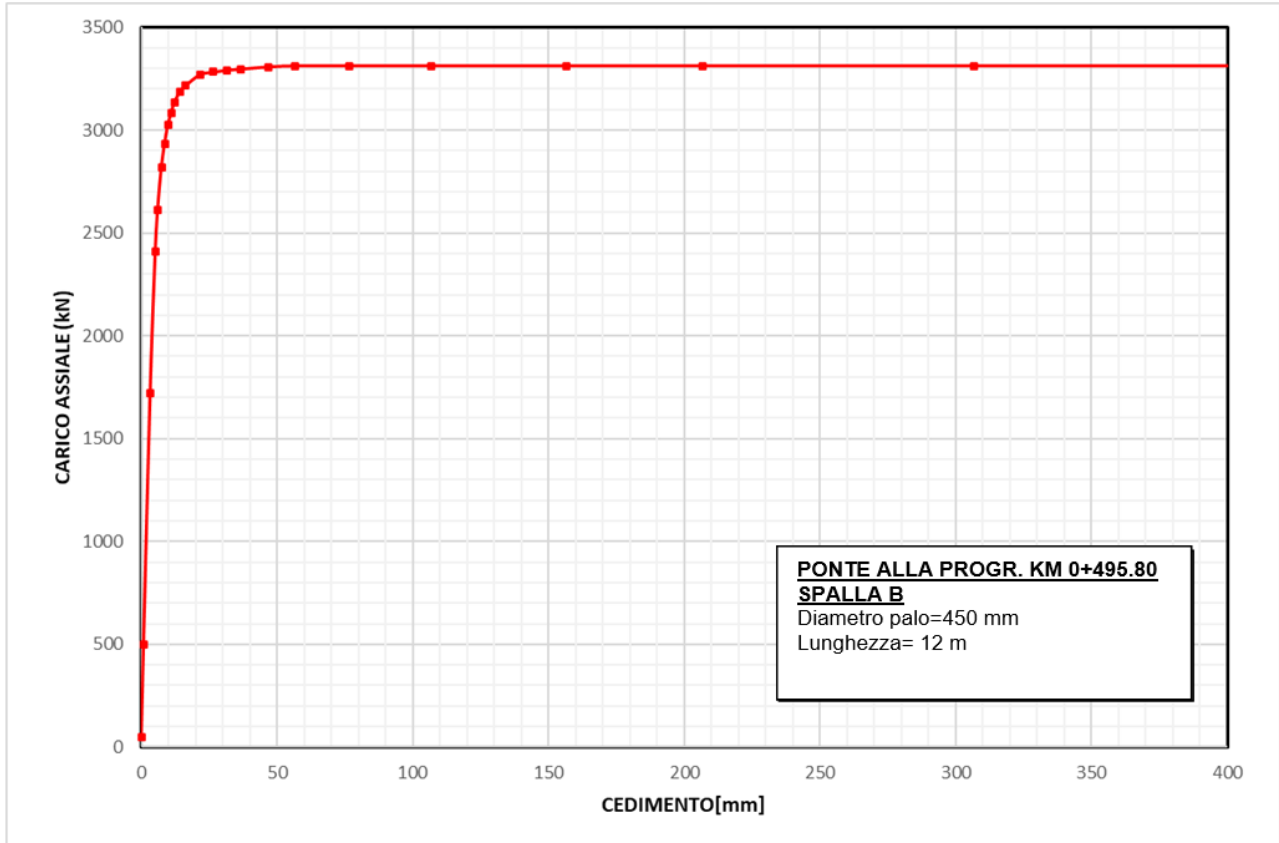


Figura 7-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI: