

## 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 Metauro 3

Relazione di calcolo delle fondazioni

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00VI06GETRE01_B		
<b>DPAN247</b>	<b>D</b>	<b>22</b>	CODICE ELAB. <b>T00VI06GETRE01</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. <u>PREMESSA</u></b> .....	<b>2</b>
<b>2. <u>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</u></b> .....	<b>2</b>
2.1.   NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE .....	2
2.1.   ELABORATI DI PROGETTO.....	2
<b>3. <u>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</u></b> .....	<b>3</b>
<b>4. <u>CRITERI DI CALCOLO</u></b> .....	<b>4</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
4.5.   CALCOLO DEI CEDIMENTI.....	9
4.6.   STABILITÀ DEL RILEVATO .....	11
<b>5. <u>RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI</u></b> .....	<b>13</b>
<b>6. <u>PONTE METAURO SPALLA A QUOTA=256.17 M.S.L.M</u></b> .....	<b>15</b>
<b>7. <u>PONTE METAURO 3 SPALLA A QUOTA= 254.37 M.S.L.M</u></b> .....	<b>23</b>
<b>8. <u>PONTE METAURO 3 SPALLA B</u></b> .....	<b>31</b>
<b>9. <u>PONTE METAURO 3 PILA 1</u></b> .....	<b>39</b>
<b>10. <u>PONTE METAURO 3 PILA 2</u></b> .....	<b>47</b>
<b>11. <u>PONTE METAURO 3 PILA 3</u></b> .....	<b>55</b>
<b>12. <u>RILEVATO TEMPORANEO</u></b> .....	<b>63</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 Metauro 3.

In particolare si sono considerate le seguenti fondazioni;

- Spalla A
- Spalla B
- Pila 1
- Pila 2
- Pila 3

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. T00VI06STRRE02].

## **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**

[T00VI06STRRE02] Relazione tecnica e di calcolo opere d'arte maggiori viadotti e ponti - ponte Metauro 3.

### 3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Le fondazioni previste per il Ponte Metauro 3 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\_alt** (Substrato alterato del flysch) strato di alterazione dell'unità marnoso arenacea. Costituito da marna e marna siltosa, limo con argilla da sabbioso a debolmente sabbioso, limo argilloso e ghiaia limosa
- **Sub** (Substrato marnoso arenaceo) substrato costituito da marna e marna argillosa, calcarenite e arenarie.

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

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

UG	Descrizione	$\gamma_n$ (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_alt	Substrato alterato del flysch	20÷22	10 ÷ 20	25 ÷ 30	-	-	20 per z>5 m 50 per 5 m<z<15 m 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 nella seguente tabella , relativi alla condizione di pali trivellati.

**Tabella 4-1**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
	$\gamma_R$	(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  $\xi_4$ , riportati nella tabella di seguito, 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 riportata in precedenza.

#### 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

PROGETTAZIONE ATI:

$k_s$  = coefficiente empirico assunto pari a 0.5

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:

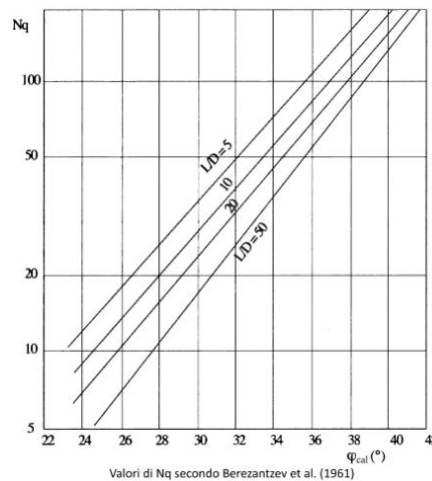
$A_p$  = area della base del palo

$q_{bl}$  = 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:

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

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

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

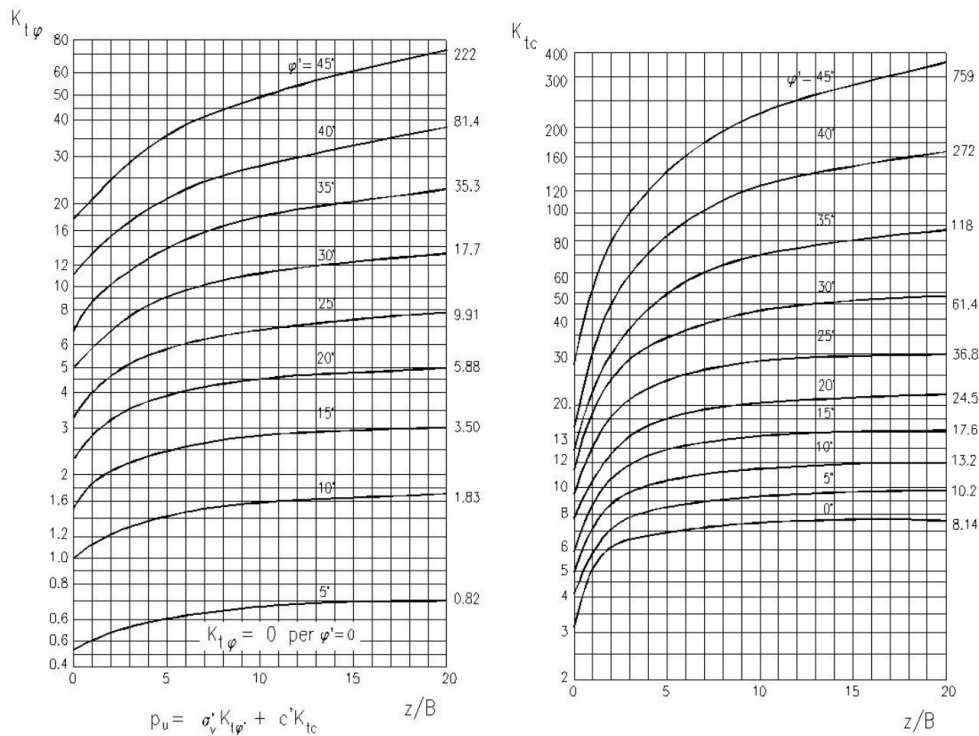
$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

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

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

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

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

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

con il seguente significato dei simboli:

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

#### 4.5. CALCOLO DEI CEDIMENTI

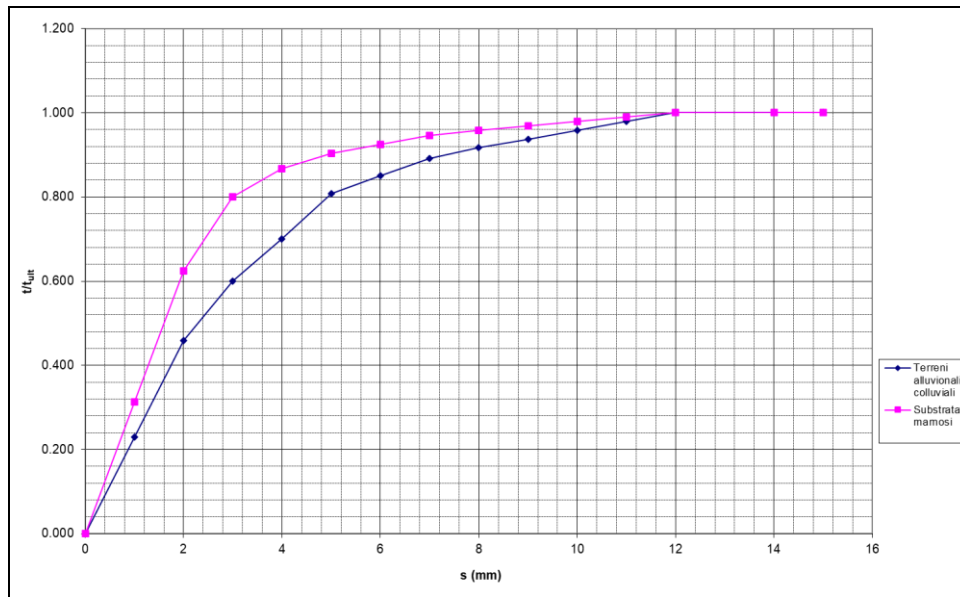
La valutazione della curva carico-cedimento del palo è stata effettuata con il metodo delle curve di trasferimento (t-s e q-s).

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

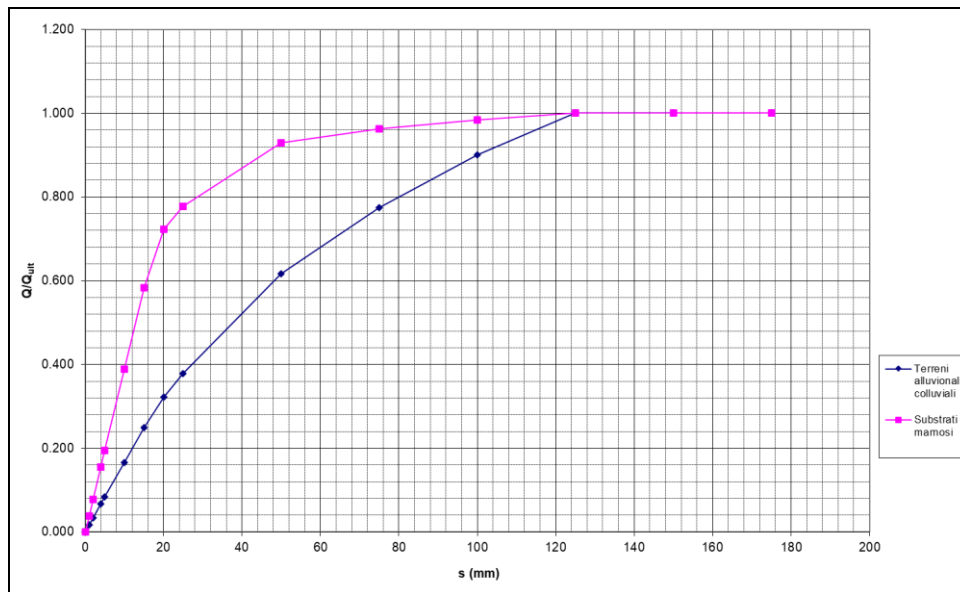
PROGETTAZIONE ATI:

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

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



**Figura 4-3 Curva di trasferimento laterale**



**Figura 4-4 Curva di trasferimento alla base**

PROGETTAZIONE ATI:

#### 4.6. STABILITÀ DEL RILEVATO

La fase di installazione dei conci costituenti l'impalcato necessita la realizzazione di un rilevato temporaneo dove possano transitare i mezzi di sollevamento.

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $\gamma_R$ .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare, il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

$l$	lunghezza della base della striscia
$\alpha$	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
$b$	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	angolo di attrito lungo la base della striscia
$c$	coesione lungo la base della striscia
$\gamma$	peso di volume del terreno
$u$	pressione neutra
<b>W</b>	peso della striscia
<b>N</b>	sforzo normale alla base della striscia
<b>T</b>	sforzo di taglio alla base della striscia
<b>E<sub>s</sub>, E<sub>d</sub></b>	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
<b>X<sub>s</sub>, X<sub>d</sub></b>	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
<b>E<sub>a</sub>, E<sub>b</sub></b>	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
<b><math>\Delta X</math></b>	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
<b><math>\Delta E</math></b>	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

#### Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{F} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i**esima rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i**esima, **C<sub>i</sub>**

PROGETTAZIONE ATI:

e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

PROGETTAZIONE ATI:

## 5. RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI

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

### Geometria

FONDAZIONE	QUOTA [m.s.l.m]	DIAMETRO [m]	LUNGHEZZA [m]
Pila 1	233.61	0.45	16
Pila 2	233.17	0.45	16
Pila 3	242.88	0.45	18
Spalla A	254.37	0.45	8
Spalla A	256.17	0.45	8
Spalla B	246.85	0.45	8

### 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
Pila 1	2179.59	1552	1.40	2198.67	1657	1.33
Pila 2	1930.30	1552	1.24	1949.38	1657	1.18
Pila 3	1480.42	1281	1.16	1501.89	1185	1.27
Spalla A	466.72	461	1.01	476.26	416	1.14
Spalla A	733.87	461	1.59	743.42	416	1.79
Spalla B	734.02	514	1.43	743.57	552	1.35

### 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
Pila 1	1897.16	-	-	1904.80	413.3	4.61
Pila 2	1667.82	-	-	1675.45	413.3	4.05
Pila 3	1264.33	-	-	1272.92	159.9	7.96
Spalla A	279.72	-	-	283.54	-	-
Spalla A	525.50	-	-	529.32	-	-
Spalla B	525.64	-	-	524.46	-	-

### Verifiche a carico trasversale

FONDAZIONE	CARICO LIMITE ORIZZONTALE SLU-SLV [kN]	CARICO MAX DI PROGETTO ORIZZONTALE SLU[kN]	FS
Pila 1	296.63	165	1.80
Pila 2	285.63	165	1.73
Pila 3	260.50	161.5	1.61
Spalla A	220.05	132.1	1.67
Spalla A	260.50	132.1	1.97
Spalla B	238.78	184.7	1.29

PROGETTAZIONE ATI:

**Cedimenti**

<b>FONDAZIONE</b>	<b>CARICO MASSIMO VERTICALE SLE[kN]</b>	<b>CEDIMENTO [MM]</b>
Pila 1	1122	1.46
Pila 2	1122	1.87
Pila 3	924	2.4
Spalla A	340	1.09
Spalla A	340	1.1
Spalla B	380	0.79

PROGETTAZIONE ATI:

## 6. PONTE METAURO SPALLA A QUOTA=256.17 M.S.L.M

### 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]
0.0-1.6	ALL-Gh	20.5	32.5	2.5	18.8	3000
1.6 - 6.3	Sub-alt	21.0	27.5	15	7.0	3000
>11.3	SUB	23.5	28.5	40	-	3000

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

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

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.

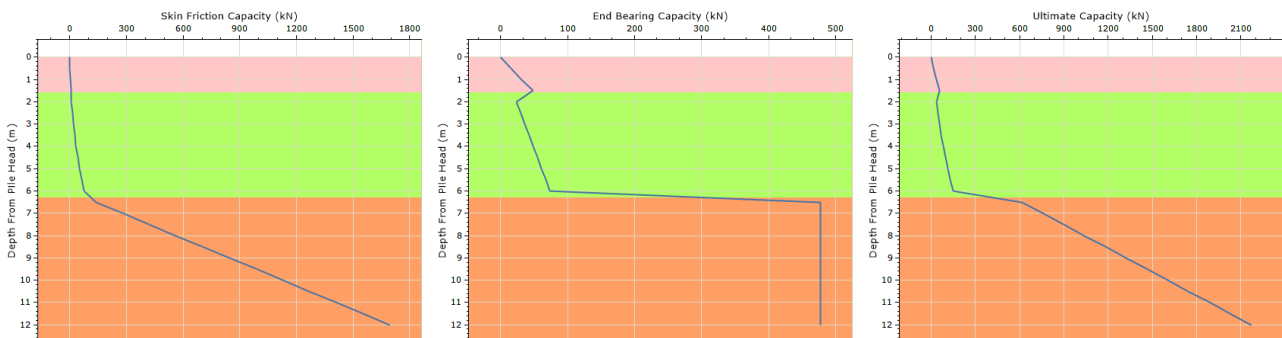


Figura 6-1 – Curve a compressione non fattorizzate

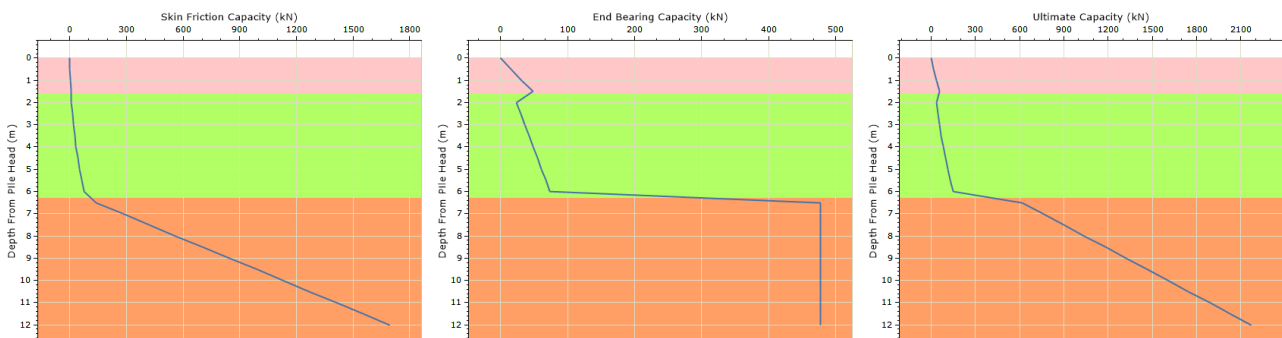


Figura 6-2 – Curve a trazione non fattorizzate

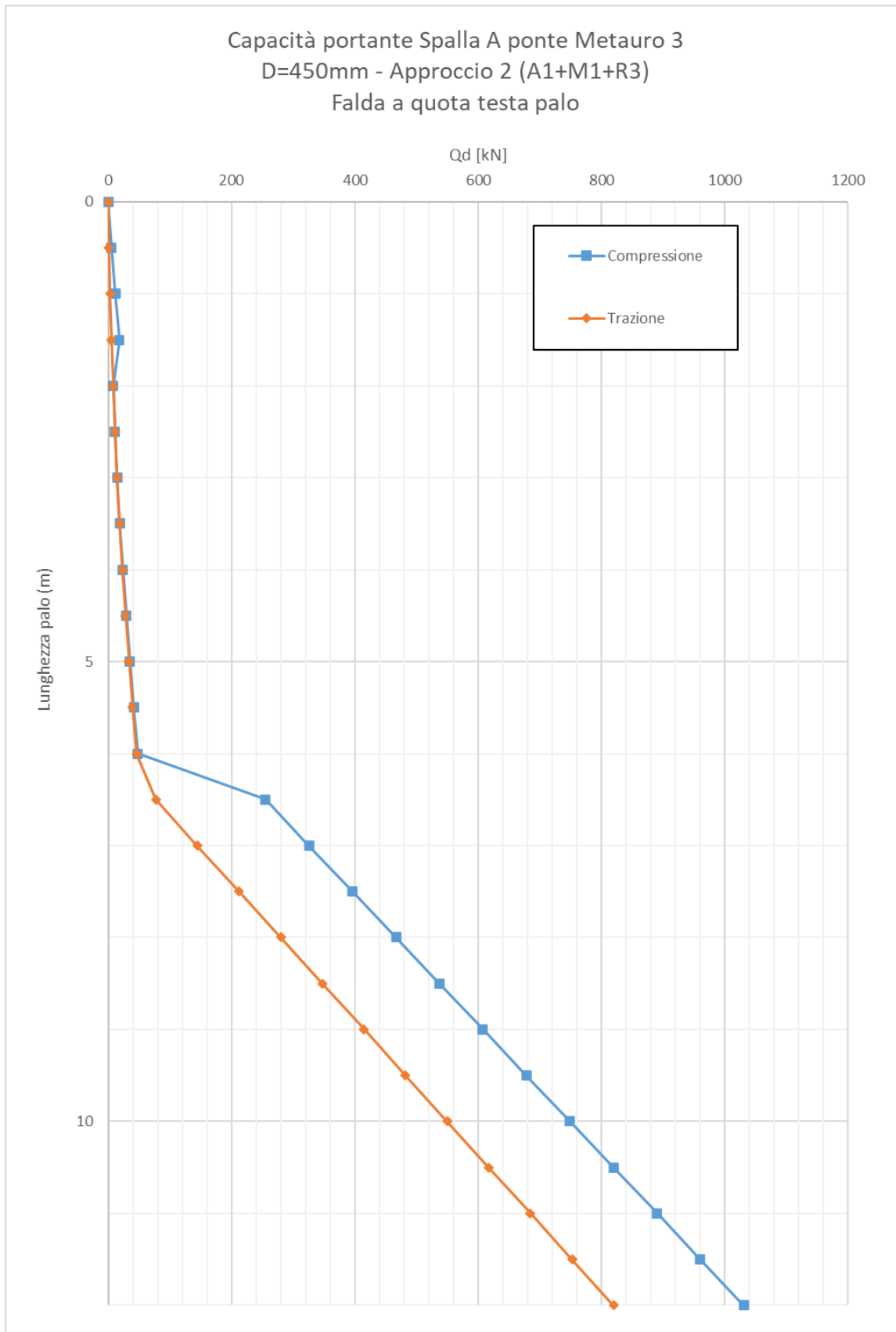
PROGETTAZIONE ATI:



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

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	COMPRESIONE			
								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	0.601397482	15.98160777	16.58300525	1.955	2.13	2.30	0.30762	6.9636635	1.79	5.48
1	-1	2.405592253	31.96321554	34.36880779	1.955	2.13	2.30	1.230482	13.927327	3.58	11.57934
1.5	-1.5	5.412581581	47.94482331	53.35740489	1.955	2.13	2.30	2.768584	20.890991	5.37	18.29187
2	-2	9.008469322	24.02505493	33.03352425	1.955	2.13	2.30	4.607913	10.468434	7.16	7.92
2.5	-2.5	13.49867938	30.25397904	43.75265842	1.955	2.13	2.30	6.904695	13.182562	8.95	11.14108
3	-3	19.01945473	36.48290315	55.50235789	1.955	2.13	2.30	9.728621	15.89669	10.74	14.8899
3.5	-3.5	25.57080027	42.71182726	68.28262754	1.955	2.13	2.30	13.07969	18.610818	12.52	19.16586
4	-4	33.15271558	48.94075138	82.09346695	1.955	2.13	2.30	16.95791	21.324946	14.31	23.96898
4.5	-4.5	41.76519899	55.16967549	96.93487448	1.955	2.13	2.30	21.36327	24.039074	16.10	29.2923
5	-5	51.40825095	61.3985996	112.8068506	1.955	2.13	2.30	26.29578	26.753202	17.89	35.15663
5.5	-5.5	62.08187394	67.62752371	129.7093976	1.955	2.13	2.30	31.75543	29.467331	19.68	41.54118
6	-6	73.78606885	73.85644782	147.6425167	1.955	2.13	2.30	37.74223	32.181459	21.47	48.45287
6.5	-6.5	137.8516064	477.1293843	614.9809906	1.955	2.13	2.30	70.51233	207.89951	23.26	255.1518
7	-7	279.2231061	477.1293843	756.3524904	1.955	2.13	2.30	142.8251	207.89951	25.05	325.6753
7.5	-7.5	420.5947755	477.1293843	897.7241598	1.955	2.13	2.30	215.138	207.89951	26.84	396.199
8	-8	561.9664449	477.1293843	1039.095829	1.955	2.13	2.30	287.4509	207.89951	28.63	466.7226
8.5	-8.5	703.3380861	477.1293843	1180.46747	1.955	2.13	2.30	359.7637	207.89951	30.42	537.2462
9	-9	844.7097555	477.1293843	1321.83914	1.955	2.13	2.30	432.0766	207.89951	32.21	607.7699
9.5	-9.5	986.0814249	477.1293843	1463.210809	1.955	2.13	2.30	504.3895	207.89951	34.00	678.2935
10	-10	1127.453094	477.1293843	1604.582479	1.955	2.13	2.30	576.7023	207.89951	35.78	748.8172
10.5	-10.5	1268.824764	477.1293843	1745.954148	1.955	2.13	2.30	649.0152	207.89951	37.57	819.3408
11	-11	1410.196405	477.1293843	1887.325789	1.955	2.13	2.30	721.3281	207.89951	39.36	889.8644
11.5	-11.5	1551.568074	477.1293843	2028.697459	1.955	2.13	2.30	793.641	207.89951	41.15	960.3881
12	-12	1692.939744	477.1293843	2170.069128	1.955	2.13	2.30	865.9538	207.89951	42.94	1030.912

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	0.601397482	15.98160777	16.58300525	1.955	2.13	2.30	0.283011	0.954259	1.237269	
1	-1	2.405592253	31.96321554	34.36880779	1.955	2.13	2.30	1.132043	1.908518	3.040561	
1.5	-1.5	5.412581581	47.94482331	53.35740489	1.955	2.13	2.30	2.547097	2.862776	5.409874	
2	-2	9.008469322	24.02505493	33.03352425	1.955	2.13	2.30	4.23928	3.817035	8.056315	
2.5	-2.5	13.49867938	30.25397904	43.75265842	1.955	2.13	2.30	6.35232	4.771294	11.12361	
3	-3	19.01945473	36.48290315	55.50235789	1.955	2.13	2.30	8.950332	5.725553	14.67588	
3.5	-3.5	25.57080027	42.71182726	68.28262754	1.955	2.13	2.30	12.03332	6.679811	18.71313	
4	-4	33.15271558	48.94075138	82.09346695	1.955	2.13	2.30	15.60128	7.63407	23.23535	
4.5	-4.5	41.76519899	55.16967549	96.93487448	1.955	2.13	2.30	19.65421	8.588329	28.24254	
5	-5	51.40825095	61.3985996	112.8068506	1.955	2.13	2.30	24.19212	9.542588	33.73471	
5.5	-5.5	62.08187394	67.62752371	129.7093976	1.955	2.13	2.30	29.215	10.49685	39.71185	
6	-6	73.78606885	73.85644782	147.6425167	1.955	2.13	2.30	34.72286	11.45111	46.17396	
6.5	-6.5	137.8516064	477.1293843	614.9809906	1.955	2.13	2.30	64.87134	12.40536	77.27671	
7	-7	279.2231061	477.1293843	756.3524904	1.955	2.13	2.30	131.3991	13.35962	144.7587	
7.5	-7.5	420.5947755	477.1293843	897.7241598	1.955	2.13	2.30	197.927	14.31388	212.2408	
8	-8	561.9664449	477.1293843	1039.095829	1.955	2.13	2.30	264.4548	15.26814	279.7229	
8.5	-8.5	703.3380861	477.1293843	1180.46747	1.955	2.13	2.30	330.9826	16.2224	347.205	
9	-9	844.7097555	477.1293843	1321.83914	1.955	2.13	2.30	397.5105	17.17666	414.6871	
9.5	-9.5	986.0814249	477.1293843	1463.210809	1.955	2.13	2.30	464.0383	18.13092	482.1692	
10	-10	1127.453094	477.1293843	1604.582479	1.955	2.13	2.30	530.5662	19.08518	549.6513	
10.5	-10.5	1268.824764	477.1293843	1745.954148	1.955	2.13	2.30	597.094	20.03943	617.1334	
11	-11	1410.196405	477.1293843	1887.325789	1.955	2.13	2.30	663.6218	20.99369	684.6155	
11.5	-11.5	1551.568074	477.1293843	2028.697459	1.955	2.13	2.30	730.1497	21.94795	752.0976	
12	-12	1692.939744	477.1293843	2170.069128	1.955	2.13	2.30	796.6775	22.90221	819.5797	

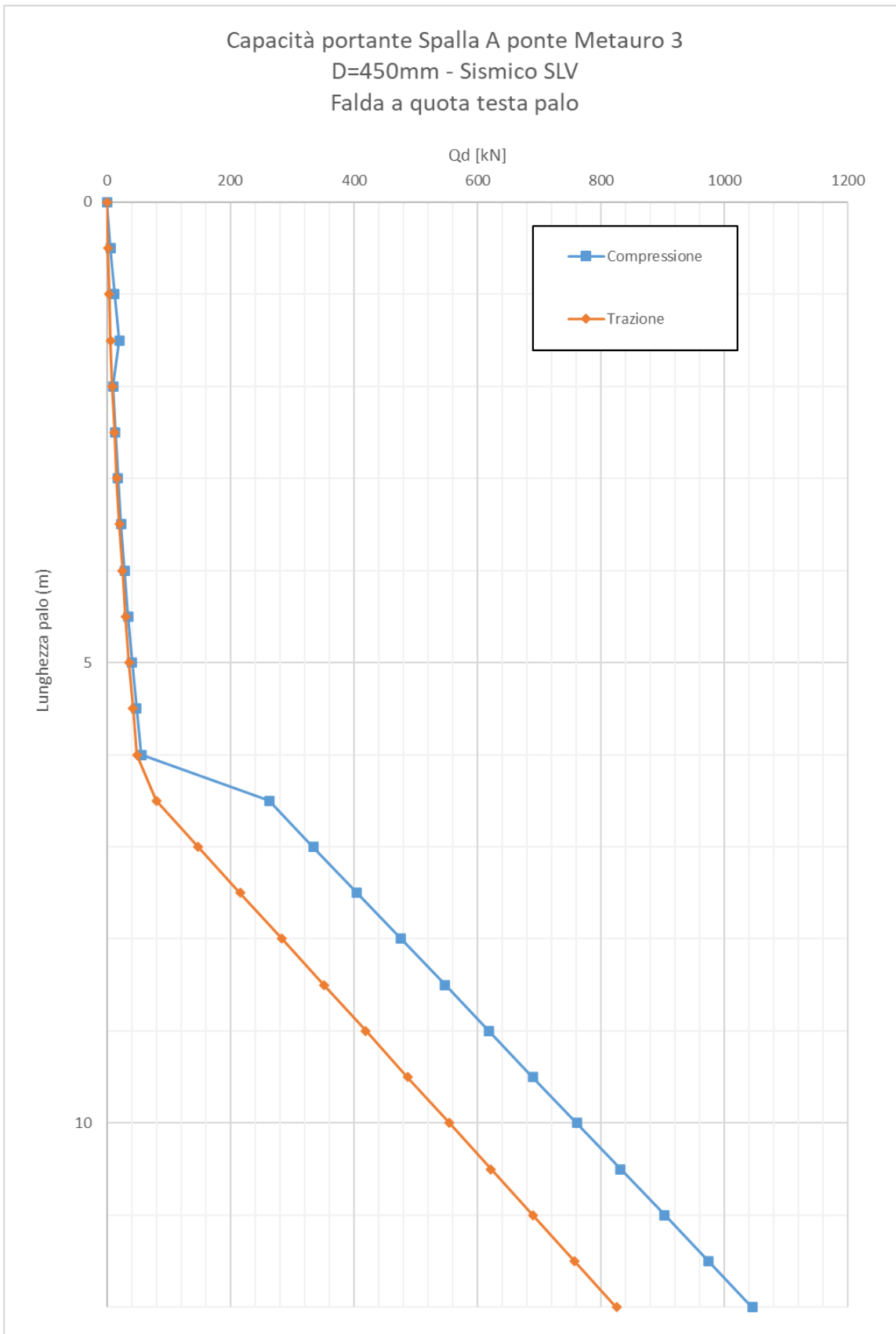


PROGETTAZIONE ATI:

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	0.601397482	15.98160777	16.58300525	1.955	2.13	2.30	0.30762	6.9636635	1.19	<b>6.08</b>
1	-1	2.405592253	31.96321554	34.36880779	1.955	2.13	2.30	1.230482	13.927327	2.39	<b>12.77216</b>
1.5	-1.5	5.412581581	47.94482331	53.35740489	1.955	2.13	2.30	2.768584	20.890991	3.58	<b>20.0811</b>
2	-2	9.008469322	24.02505493	33.03352425	1.955	2.13	2.30	4.607913	10.468434	4.77	<b>10.31</b>
2.5	-2.5	13.49867938	30.25397904	43.75265842	1.955	2.13	2.30	6.904695	13.182562	5.96	<b>14.12314</b>
3	-3	19.01945473	36.48290315	55.50235789	1.955	2.13	2.30	9.728621	15.89669	7.16	<b>18.46837</b>
3.5	-3.5	25.57080027	42.71182726	68.28262754	1.955	2.13	2.30	13.07969	18.610818	8.35	<b>23.34075</b>
4	-4	33.15271558	48.94075138	82.09346695	1.955	2.13	2.30	16.95791	21.324946	9.54	<b>28.74027</b>
4.5	-4.5	41.76519899	55.16967549	96.93487448	1.955	2.13	2.30	21.36327	24.039074	10.74	<b>34.66694</b>
5	-5	51.40825095	61.3985996	112.8068506	1.955	2.13	2.30	26.29578	26.753202	11.93	<b>41.12075</b>
5.5	-5.5	62.08187394	67.62752371	129.7093976	1.955	2.13	2.30	31.75543	29.467331	13.12	<b>48.10171</b>
6	-6	73.78606885	73.85644782	147.6425167	1.955	2.13	2.30	37.74223	32.181459	14.31	<b>55.60981</b>
6.5	-6.5	137.8516064	477.1293843	614.9809906	1.955	2.13	2.30	70.51233	207.89951	15.51	<b>262.9051</b>
7	-7	279.2231061	477.1293843	756.3524904	1.955	2.13	2.30	142.8251	207.89951	16.70	<b>334.0251</b>
7.5	-7.5	420.5947755	477.1293843	897.7241598	1.955	2.13	2.30	215.138	207.89951	17.89	<b>405.1452</b>
8	-8	561.9664449	477.1293843	1039.095829	1.955	2.13	2.30	287.4509	207.89951	19.09	<b>476.2652</b>
8.5	-8.5	703.3380861	477.1293843	1180.46747	1.955	2.13	2.30	359.7637	207.89951	20.28	<b>547.3852</b>
9	-9	844.7097555	477.1293843	1321.83914	1.955	2.13	2.30	432.0766	207.89951	21.47	<b>618.5053</b>
9.5	-9.5	986.0814249	477.1293843	1463.210809	1.955	2.13	2.30	504.3895	207.89951	22.66	<b>689.6253</b>
10	-10	1127.453094	477.1293843	1604.582479	1.955	2.13	2.30	576.7023	207.89951	23.86	<b>760.7454</b>
10.5	-10.5	1268.824764	477.1293843	1745.954148	1.955	2.13	2.30	649.0152	207.89951	25.05	<b>831.8654</b>
11	-11	1410.196405	477.1293843	1887.325789	1.955	2.13	2.30	721.3281	207.89951	26.24	<b>902.9855</b>
11.5	-11.5	1551.568074	477.1293843	2028.697459	1.955	2.13	2.30	793.641	207.89951	27.43	<b>974.1055</b>
12	-12	1692.939744	477.1293843	2170.069128	1.955	2.13	2.30	865.9538	207.89951	28.63	<b>1045.226</b>

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	TRAZIONE			
								Ql/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,t (kN)	
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0	
0.5	-0.5	0.601397482	15.98160777	16.58300525	1.955	2.13	2.30	0.283011	1.192823	<b>1.475834</b>	
1	-1	2.405592253	31.96321554	34.36880779	1.955	2.13	2.30	1.132043	2.385647	<b>3.51769</b>	
1.5	-1.5	5.412581581	47.94482331	53.35740489	1.955	2.13	2.30	2.547097	3.57847	<b>6.125568</b>	
2	-2	9.008469322	24.02505493	33.03352425	1.955	2.13	2.30	4.23928	4.771294	<b>9.010574</b>	
2.5	-2.5	13.49867938	30.25397904	43.75265842	1.955	2.13	2.30	6.35232	5.964117	<b>12.31644</b>	
3	-3	19.01945473	36.48290315	55.50235789	1.955	2.13	2.30	8.950332	7.156941	<b>16.10727</b>	
3.5	-3.5	25.57080027	42.71182726	68.28262754	1.955	2.13	2.30	12.03332	8.349764	<b>20.38308</b>	
4	-4	33.15271558	48.94075138	82.09346695	1.955	2.13	2.30	15.60128	9.542588	<b>25.14387</b>	
4.5	-4.5	41.76519899	55.16967549	96.93487448	1.955	2.13	2.30	19.65421	10.73541	<b>30.38962</b>	
5	-5	51.40825095	61.3985996	112.8068506	1.955	2.13	2.30	24.19212	11.92823	<b>36.12035</b>	
5.5	-5.5	62.08187394	67.62752371	129.7093976	1.955	2.13	2.30	29.215	13.12106	<b>42.33606</b>	
6	-6	73.78606885	73.85644782	147.6425167	1.955	2.13	2.30	34.72286	14.31388	<b>49.03674</b>	
6.5	-6.5	137.8516064	477.1293843	614.9809906	1.955	2.13	2.30	64.87134	15.5067	<b>80.37805</b>	
7	-7	279.2231061	477.1293843	756.3524904	1.955	2.13	2.30	131.3991	16.69953	<b>148.0986</b>	
7.5	-7.5	420.5947755	477.1293843	897.7241598	1.955	2.13	2.30	197.927	17.89235	<b>215.8193</b>	
8	-8	561.9664449	477.1293843	1039.095829	1.955	2.13	2.30	264.4548	19.08518	<b>283.54</b>	
8.5	-8.5	703.3380861	477.1293843	1180.46747	1.955	2.13	2.30	330.9826	20.278	<b>351.2606</b>	
9	-9	844.7097555	477.1293843	1321.83914	1.955	2.13	2.30	397.5105	21.47082	<b>418.9813</b>	
9.5	-9.5	986.0814249	477.1293843	1463.210809	1.955	2.13	2.30	464.0383	22.66365	<b>486.702</b>	
10	-10	1127.453094	477.1293843	1604.582479	1.955	2.13	2.30	530.5662	23.85647	<b>554.4226</b>	
10.5	-10.5	1268.824764	477.1293843	1745.954148	1.955	2.13	2.30	597.094	25.04929	<b>622.1433</b>	
11	-11	1410.196405	477.1293843	1887.325789	1.955	2.13	2.30	663.6218	26.24212	<b>689.864</b>	
11.5	-11.5	1551.568074	477.1293843	2028.697459	1.955	2.13	2.30	730.1497	27.43494	<b>757.5846</b>	
12	-12	1692.939744	477.1293843	2170.069128	1.955	2.13	2.30	796.6775	28.62776	<b>825.3053</b>	



PROGETTAZIONE ATI:

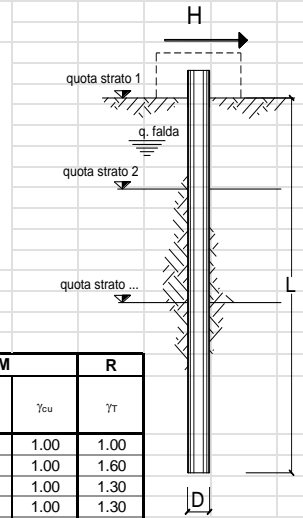
**Carico limite orizzontale**

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 20 mm.

$M_{plas} = 518$  kNm

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

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



**Input:**

coefficienti parziali		A		M		R
Metodo di calcolo		permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$
SLS	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		<input type="radio"/>	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]	
<input type="checkbox"/>	strato 1	ALL-Gh	100.00	20.5	32.5	2.5	32.5	2.5
<input checked="" type="checkbox"/>	strato 2	sub-alt	98.40	21	27.5	15	27.5	15
<input checked="" type="checkbox"/>	strato 3	SUB	93.70	23.5	28.5	40	28.5	40
<input type="checkbox"/>	strato 4							
<input type="checkbox"/>	strato 5							
<input type="checkbox"/>	strato 6							

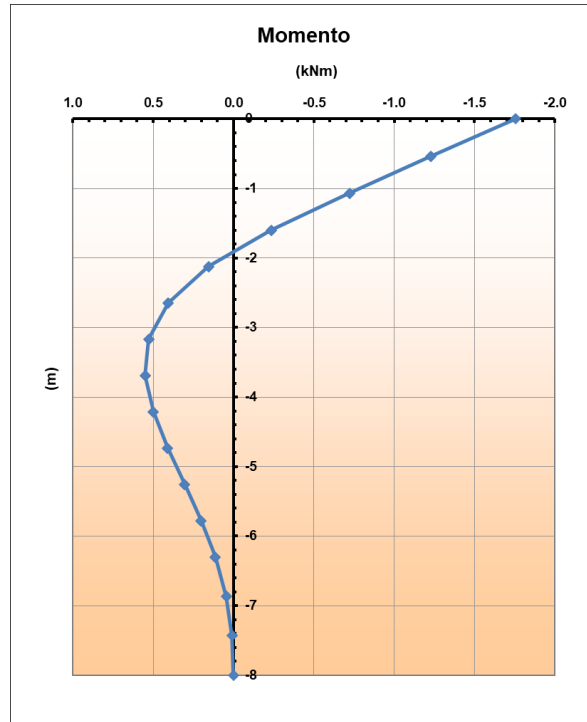
Z<sub>w</sub> 100 [m] Quota falda  
q 0 [kPa] Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni)  
Mu 513.3 [kNm] Momento ultimo della sezione  
D 0.45 [m] Diametro del palo  
L 8 [m] Lunghezza del palo

**Risultati:**

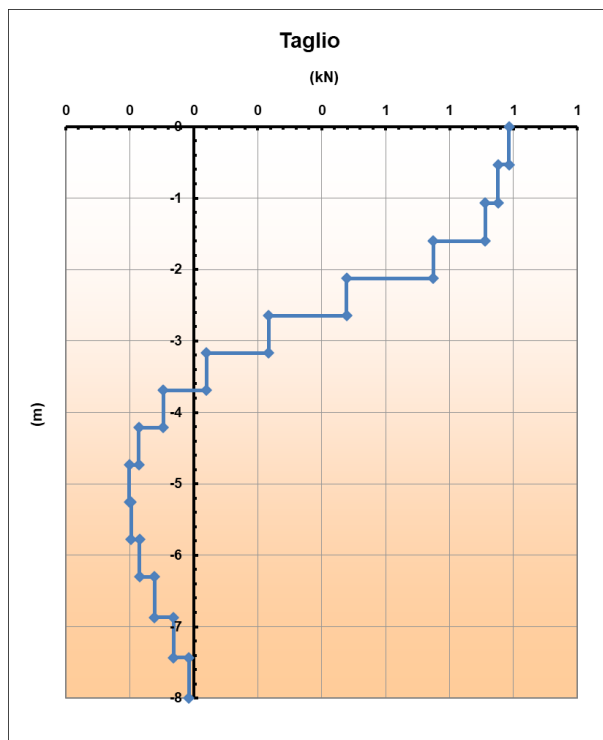
	H medio		H minimo	
Palo lungo	486 (kN)		486 (kN)	
Palo intermedio	1152 (kN)		1152 (kN)	
Palo corto	3721 (kN)		3721 (kN)	
<b>H<sub>med</sub></b>	<b>486 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>486.3 (kN)</b>
<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub>; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>			286.06	(kN)
<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>			<b>220.05</b>	<b>(kN)</b>
Carico Assiale Permanente (G):	G =	1	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)	
<b>F<sub>d</sub> = G · γ<sub>G</sub> + Q · γ<sub>Q</sub> =</b>			<b>1.00</b>	<b>(kN)</b>
<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>			<b>220.05</b>	

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.

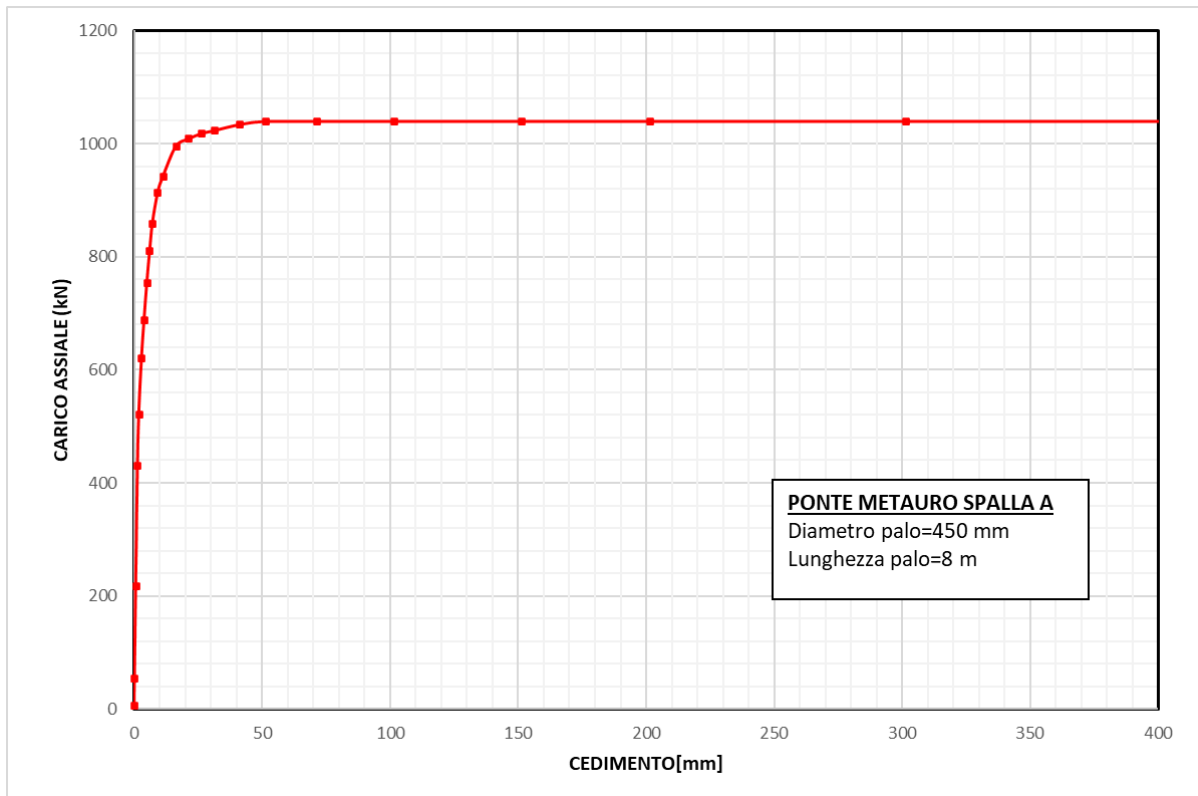


Figura 6-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 7. PONTE METAURO 3 SPALLA A QUOTA= 254.37 M.S.L.M

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]
0-4.3	Sub-alt	21.0	27.5	15	7.0	3000
>4.3	SUB	23.5	28.5	40	-	3000

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

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

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.

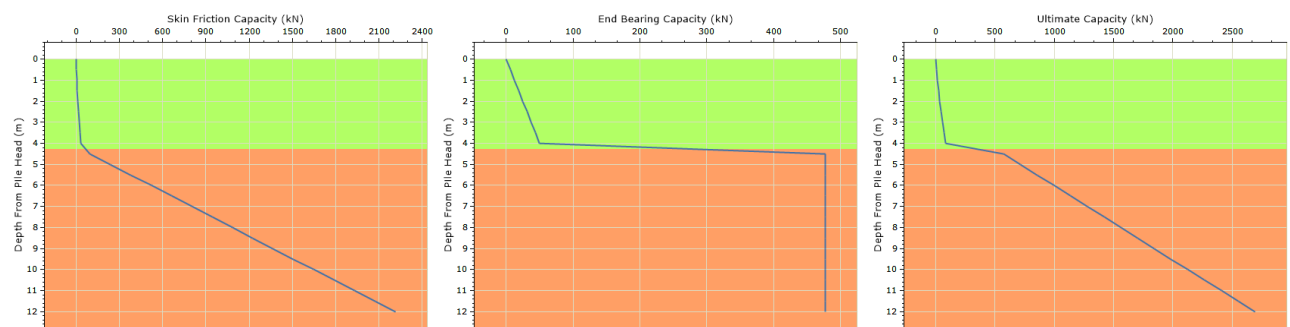


Figura 7-1 – Curve a compressione non fattorizzate

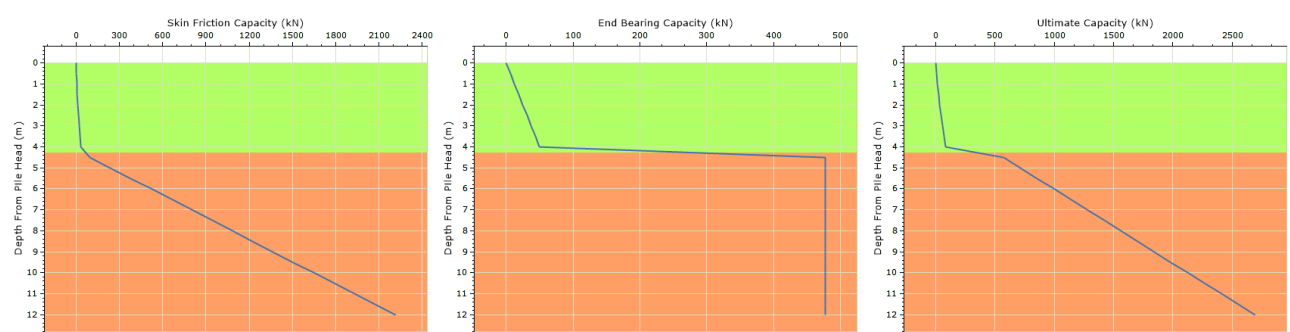


Figura 7-2 – Curve a trazione non fattorizzate

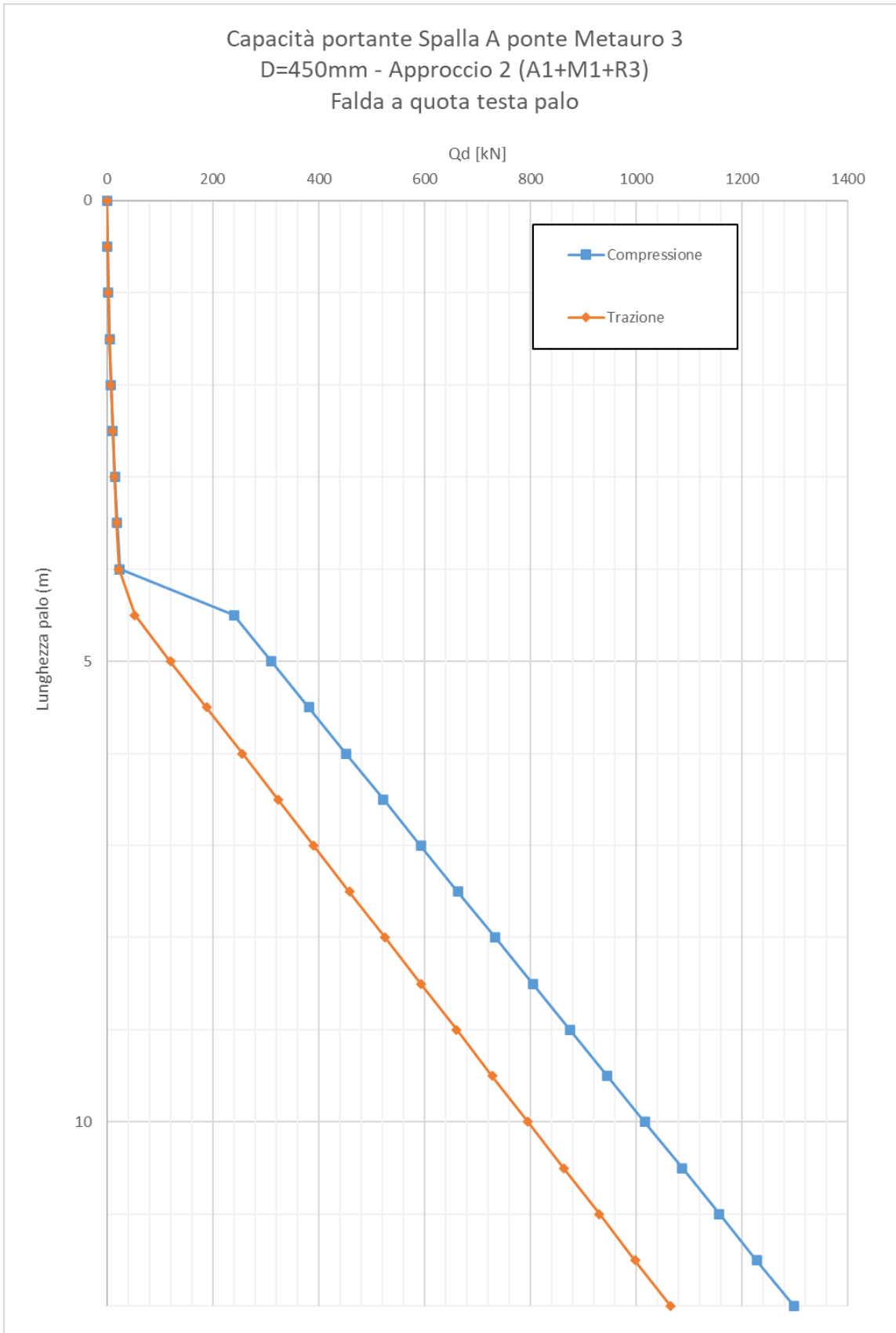
PROGETTAZIONE ATI:



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

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	COMPRESSIONE			
								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	0.515283355	6.228924112	6.744207466	1.955	2.13	2.30	0.263572	2.7141282	1.79	1.19
1	-1	2.061132953	12.45784822	14.51898118	1.955	2.13	2.30	1.054288	5.4282563	3.58	2.904074
1.5	-1.5	4.637549465	18.68677233	23.3243218	1.955	2.13	2.30	2.372148	8.1423845	5.37	5.146827
2	-2	8.244533695	24.91569645	33.16023014	1.955	2.13	2.30	4.217153	10.856513	7.16	7.92
2.5	-2.5	12.88208084	31.14462056	44.0267014	1.955	2.13	2.30	6.5893	13.570641	8.95	11.21376
3	-3	18.55019352	37.37354467	55.92373819	1.955	2.13	2.30	9.48859	16.284769	10.74	15.03795
3.5	-3.5	25.24887754	43.60246878	68.85134632	1.955	2.13	2.30	12.91503	18.998897	12.52	19.38928
4	-4	32.97812573	49.83139289	82.80951862	1.955	2.13	2.30	16.86861	21.713025	14.31	24.26775
4.5	-4.5	94.65896955	477.1293843	571.7883538	1.955	2.13	2.30	48.41891	207.89951	16.10	240.2153
5	-5	236.0302997	477.1293843	713.1596839	1.955	2.13	2.30	120.7316	207.89951	17.89	310.7388
5.5	-5.5	377.4012622	477.1293843	854.5306465	1.955	2.13	2.30	193.0441	207.89951	19.68	381.2621
6	-6	518.772123	477.1293843	995.9015073	1.955	2.13	2.30	265.3566	207.89951	21.47	451.7853
6.5	-6.5	660.1432213	477.1293843	1137.272606	1.955	2.13	2.30	337.6692	207.89951	23.26	522.3086
7	-7	801.5143195	477.1293843	1278.643704	1.955	2.13	2.30	409.9817	207.89951	25.05	592.832
7.5	-7.5	942.8854235	477.1293843	1420.014808	1.955	2.13	2.30	482.2943	207.89951	26.84	663.3553
8	-8	1084.256527	477.1293843	1561.385912	1.955	2.13	2.30	554.6069	207.89951	28.63	733.8787
8.5	-8.5	1225.62766	477.1293843	1702.757044	1.955	2.13	2.30	626.9195	207.89951	30.42	804.4702
9	-9	1366.998764	477.1293843	1844.128148	1.955	2.13	2.30	699.2321	207.89951	32.21	874.9254
9.5	-9.5	1508.369867	477.1293843	1985.499252	1.955	2.13	2.30	771.5447	207.89951	34.00	945.4487
10	-10	1649.74083	477.1293843	2126.870214	1.955	2.13	2.30	843.8572	207.89951	35.78	1015.972
10.5	-10.5	1791.112075	477.1293843	2268.24146	1.955	2.13	2.30	916.1699	207.89951	37.57	1086.495
11	-11	1932.482896	477.1293843	2409.612281	1.955	2.13	2.30	988.4823	207.89951	39.36	1157.019
11.5	-11.5	2073.854142	477.1293843	2550.983526	1.955	2.13	2.30	1060.795	207.89951	41.15	1227.542
12	-12	2215.225104	477.1293843	2692.354489	1.955	2.13	2.30	1133.107	207.89951	42.94	1298.065

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	0.515283355	6.228924112	6.744207466	1.955	2.13	2.30	0.242486	0.954259	1.196745	
1	-1	2.061132953	12.45784822	14.51898118	1.955	2.13	2.30	0.969945	1.908518	2.878462	
1.5	-1.5	4.637549465	18.68677233	23.3243218	1.955	2.13	2.30	2.182376	2.862776	5.045153	
2	-2	8.244533695	24.91569645	33.16023014	1.955	2.13	2.30	3.879781	3.817035	7.696816	
2.5	-2.5	12.88208084	31.14462056	44.0267014	1.955	2.13	2.30	6.062156	4.771294	10.83345	
3	-3	18.55019352	37.37354467	55.92373819	1.955	2.13	2.30	8.729503	5.725553	14.45506	
3.5	-3.5	25.24887754	43.60246878	68.85134632	1.955	2.13	2.30	11.88182	6.679811	18.56164	
4	-4	32.97812573	49.83139289	82.80951862	1.955	2.13	2.30	15.51912	7.63407	23.15319	
4.5	-4.5	94.65896955	477.1293843	571.7883538	1.955	2.13	2.30	44.5454	8.588329	53.13373	
5	-5	236.0302997	477.1293843	713.1596839	1.955	2.13	2.30	111.0731	9.542588	120.6157	
5.5	-5.5	377.4012622	477.1293843	854.5306465	1.955	2.13	2.30	177.6006	10.49685	188.0974	
6	-6	518.772123	477.1293843	995.9015073	1.955	2.13	2.30	244.1281	11.45111	255.5792	
6.5	-6.5	660.1432213	477.1293843	1137.272606	1.955	2.13	2.30	310.6556	12.40536	323.061	
7	-7	801.5143195	477.1293843	1278.643704	1.955	2.13	2.30	377.1832	13.35962	390.5428	
7.5	-7.5	942.8854235	477.1293843	1420.014808	1.955	2.13	2.30	443.7108	14.31388	458.0247	
8	-8	1084.256527	477.1293843	1561.385912	1.955	2.13	2.30	510.2384	15.26814	525.5065	
8.5	-8.5	1225.62766	477.1293843	1702.757044	1.955	2.13	2.30	576.766	16.2224	592.9884	
9	-9	1366.998764	477.1293843	1844.128148	1.955	2.13	2.30	643.2935	17.17666	660.4702	
9.5	-9.5	1508.369867	477.1293843	1985.499252	1.955	2.13	2.30	709.8211	18.13092	727.952	
10	-10	1649.74083	477.1293843	2126.870214	1.955	2.13	2.30	776.3486	19.08518	795.4338	
10.5	-10.5	1791.112075	477.1293843	2268.24146	1.955	2.13	2.30	842.8763	20.03943	862.9157	
11	-11	1932.482896	477.1293843	2409.612281	1.955	2.13	2.30	909.4037	20.99369	930.3974	
11.5	-11.5	2073.854142	477.1293843	2550.983526	1.955	2.13	2.30	975.9314	21.94795	997.8793	
12	-12	2215.225104	477.1293843	2692.354489	1.955	2.13	2.30	1042.459	22.90221	1065.361	

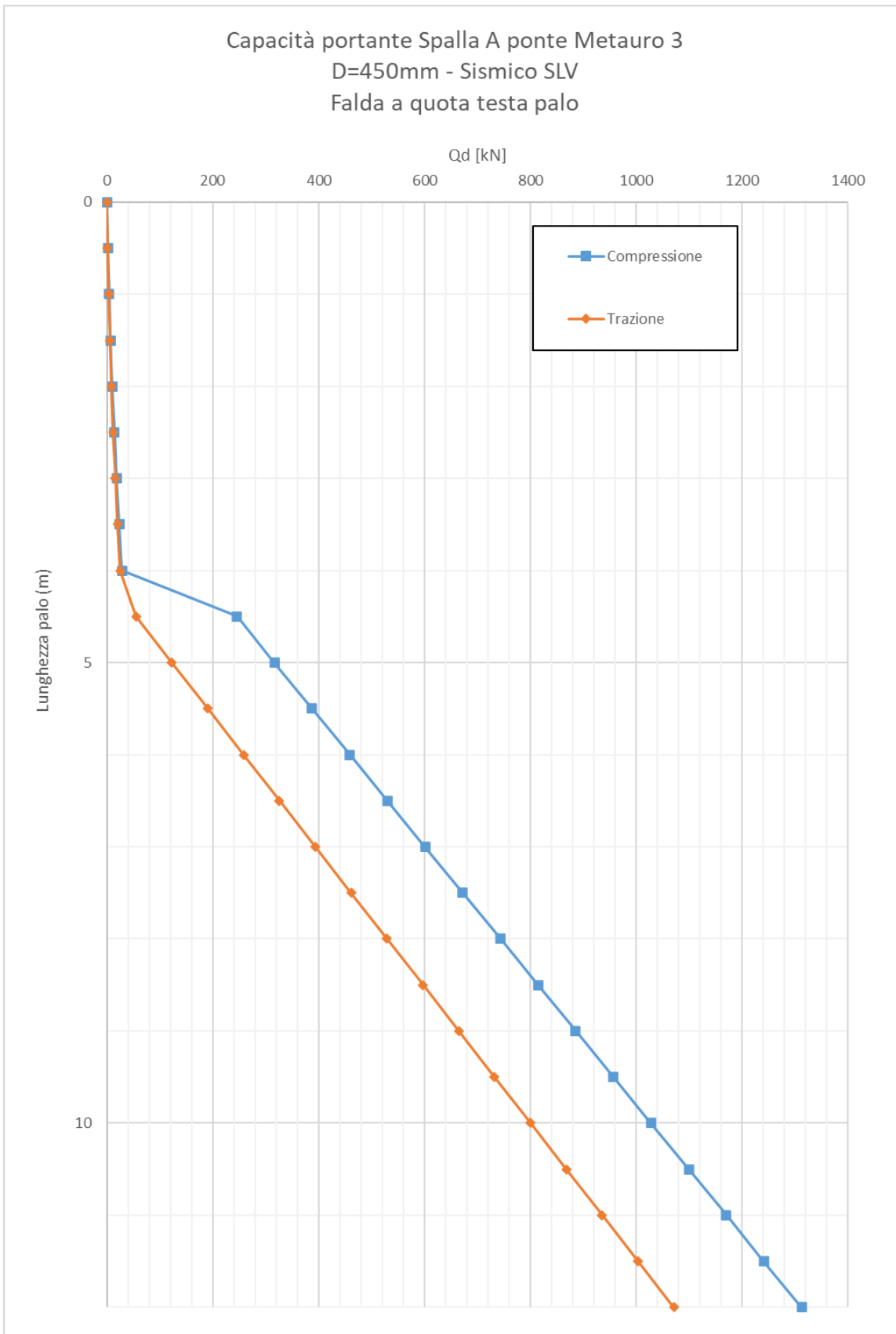


PROGETTAZIONE ATI:

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

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	COMPRESSIONE			
								Ql/FS (kN)	Qb/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,c (kN)
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0	0
0.5	-0.5	0.515283355	6.228924112	6.744207466	1.955	2.13	2.30	0.263572	2.7141282	1.19	1.78
1	-1	2.061132953	12.45784822	14.51898118	1.955	2.13	2.30	1.054288	5.4282563	2.39	4.096897
1.5	-1.5	4.637549465	18.68677233	23.3243218	1.955	2.13	2.30	2.372148	8.1423845	3.58	6.936062
2	-2	8.244533695	24.91569645	33.16023014	1.955	2.13	2.30	4.217153	10.856513	4.77	10.30
2.5	-2.5	12.88208084	31.14462056	44.0267014	1.955	2.13	2.30	6.5893	13.570641	5.96	14.19582
3	-3	18.55019352	37.37354467	55.92373819	1.955	2.13	2.30	9.48859	16.284769	7.16	18.61642
3.5	-3.5	25.24887754	43.60246878	68.85134632	1.955	2.13	2.30	12.91503	18.998897	8.35	23.56416
4	-4	32.97812573	49.83139289	82.80951862	1.955	2.13	2.30	16.86861	21.713025	9.54	29.03904
4.5	-4.5	94.65896955	477.1293843	571.7883538	1.955	2.13	2.30	48.41891	207.89951	10.74	245.583
5	-5	236.0302997	477.1293843	713.1596839	1.955	2.13	2.30	120.7316	207.89951	11.93	316.7029
5.5	-5.5	377.4012622	477.1293843	854.5306465	1.955	2.13	2.30	193.0441	207.89951	13.12	387.8226
6	-6	518.772123	477.1293843	995.9015073	1.955	2.13	2.30	265.3566	207.89951	14.31	458.9422
6.5	-6.5	660.1432213	477.1293843	1137.272606	1.955	2.13	2.30	337.6692	207.89951	15.51	530.062
7	-7	801.5143195	477.1293843	1278.643704	1.955	2.13	2.30	409.9817	207.89951	16.70	601.1817
7.5	-7.5	942.8854235	477.1293843	1420.014808	1.955	2.13	2.30	482.2943	207.89951	17.89	672.3015
8	-8	1084.256527	477.1293843	1561.385912	1.955	2.13	2.30	554.6069	207.89951	19.09	743.4213
8.5	-8.5	1225.62766	477.1293843	1702.757044	1.955	2.13	2.30	626.9195	207.89951	20.28	814.541
9	-9	1366.998764	477.1293843	1844.128148	1.955	2.13	2.30	699.2321	207.89951	21.47	885.6608
9.5	-9.5	1508.369867	477.1293843	1985.499252	1.955	2.13	2.30	771.5447	207.89951	22.66	956.7806
10	-10	1649.74083	477.1293843	2126.870214	1.955	2.13	2.30	843.8572	207.89951	23.86	1027.9
10.5	-10.5	1791.112075	477.1293843	2268.24146	1.955	2.13	2.30	916.1699	207.89951	25.05	1099.02
11	-11	1932.482896	477.1293843	2409.612281	1.955	2.13	2.30	988.4823	207.89951	26.24	1170.14
11.5	-11.5	2073.854142	477.1293843	2550.983526	1.955	2.13	2.30	1060.795	207.89951	27.43	1241.26
12	-12	2215.225104	477.1293843	2692.354489	1.955	2.13	2.30	1133.107	207.89951	28.63	1312.379

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	0.515283355	6.228924112	6.744207466	1.955	2.13	2.30	0.242486	1.192823	1.43531
1	-1	2.061132953	12.45784822	14.51898118	1.955	2.13	2.30	0.969945	2.385647	3.355592
1.5	-1.5	4.637549465	18.68677233	23.3243218	1.955	2.13	2.30	2.182376	3.57847	5.760847
2	-2	8.244533695	24.91569645	33.16023014	1.955	2.13	2.30	3.879781	4.771294	8.651074
2.5	-2.5	12.88208084	31.14462056	44.0267014	1.955	2.13	2.30	6.062156	5.964117	12.02627
3	-3	18.55019352	37.37354467	55.92373819	1.955	2.13	2.30	8.729503	7.156941	15.88644
3.5	-3.5	25.24887754	43.60246878	68.85134632	1.955	2.13	2.30	11.88182	8.349764	20.23159
4	-4	32.97812573	49.83139289	82.80951862	1.955	2.13	2.30	15.51912	9.542588	25.06171
4.5	-4.5	94.65896955	477.1293843	571.7883538	1.955	2.13	2.30	44.5454	10.73541	55.28081
5	-5	236.0302997	477.1293843	713.1596839	1.955	2.13	2.30	111.0731	11.92823	123.0013
5.5	-5.5	377.4012622	477.1293843	854.5306465	1.955	2.13	2.30	177.6006	13.12106	190.7217
6	-6	518.772123	477.1293843	995.9015073	1.955	2.13	2.30	244.1281	14.31388	258.4419
6.5	-6.5	660.1432213	477.1293843	1137.272606	1.955	2.13	2.30	310.6556	15.5067	326.1623
7	-7	801.5143195	477.1293843	1278.643704	1.955	2.13	2.30	377.1832	16.69953	393.8827
7.5	-7.5	942.8854235	477.1293843	1420.014808	1.955	2.13	2.30	443.7108	17.89235	461.6031
8	-8	1084.256527	477.1293843	1561.385912	1.955	2.13	2.30	510.2384	19.08518	529.3235
8.5	-8.5	1225.62766	477.1293843	1702.757044	1.955	2.13	2.30	576.766	20.278	597.044
9	-9	1366.998764	477.1293843	1844.128148	1.955	2.13	2.30	643.2935	21.47082	664.7644
9.5	-9.5	1508.369867	477.1293843	1985.499252	1.955	2.13	2.30	709.8211	22.66365	732.4848
10	-10	1649.74083	477.1293843	2126.870214	1.955	2.13	2.30	776.3486	23.85647	800.2051
10.5	-10.5	1791.112075	477.1293843	2268.24146	1.955	2.13	2.30	842.8763	25.04929	867.9256
11	-11	1932.482896	477.1293843	2409.612281	1.955	2.13	2.30	909.4037	26.24212	935.6458
11.5	-11.5	2073.854142	477.1293843	2550.983526	1.955	2.13	2.30	975.9314	27.43494	1003.366
12	-12	2215.225104	477.1293843	2692.354489	1.955	2.13	2.30	1042.459	28.62776	1071.087



PROGETTAZIONE ATI:

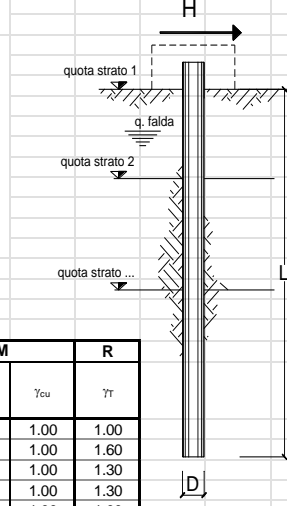
**Carico limite orizzontale**

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 16 mm.

$M_{plas} = 518$  kNm

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

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



**Input:**

coefficienti parziali			A		M		R	
Metodo di calcolo			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{ef}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_r$	
SU	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	$\geq 10$	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	sub-alt	100.00	21	27.5	15	27.5	15
<input checked="" type="checkbox"/>	strato 2	SUB	95.70	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	513.3	[kNm]	Momento ultimo della sezione
D	0.45	[m]	Diametro del palo
L	8	[m]	Lunghezza del palo

**Risultati:**

	H medio		H minimo	
Palo lungo	576 (kN)		576 (kN)	
Palo intermedio	1621 (kN)		1621 (kN)	
Palo corto	4925 (kN)		4925 (kN)	
<b>H<sub>med</sub></b>	<b>576 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>575.7 (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>				338.65 (kN)
<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/<math>\gamma_r</math></b>				260.50 (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>				<b>1.00 (kN)</b>
<b>FS = Hd / Fd =</b>				<b>260.50</b>

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

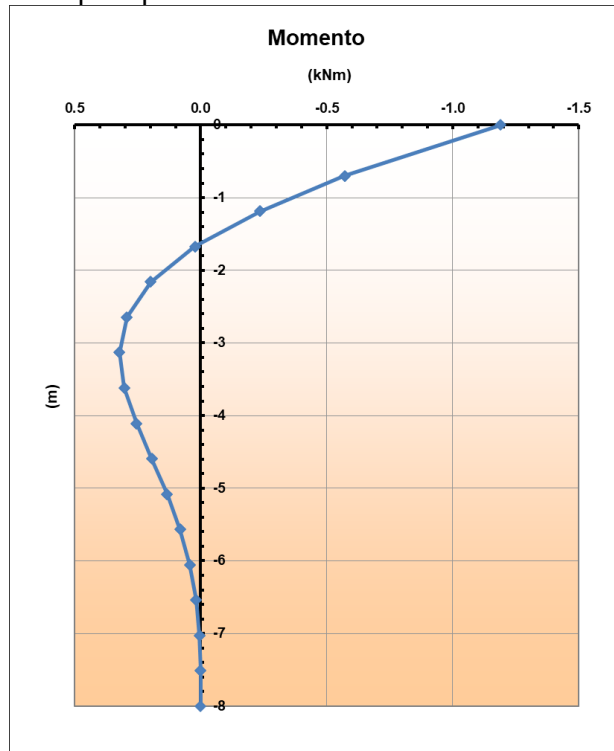


Figura 7-3 – Momento flettente agente per carico unitario

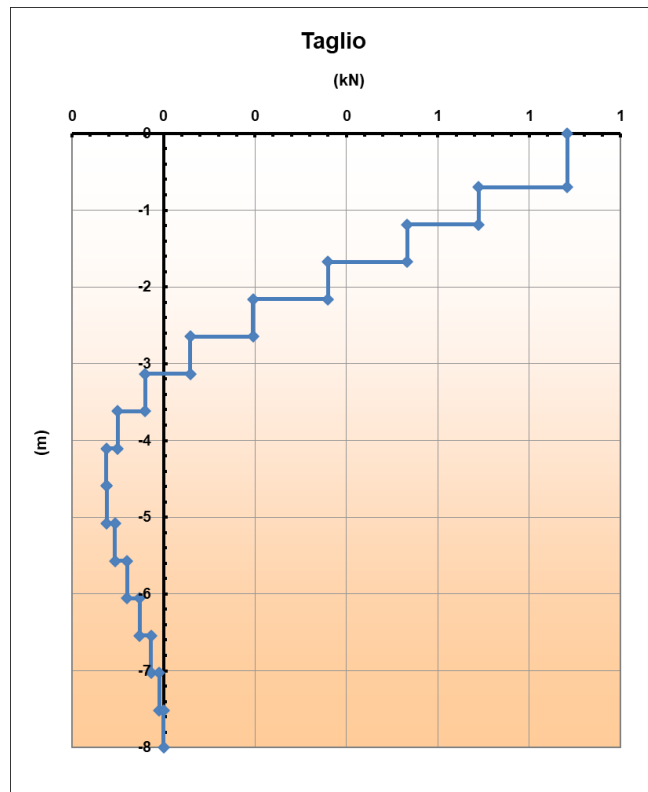


Figura 7-4 –Taglio agente per carico unitario

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

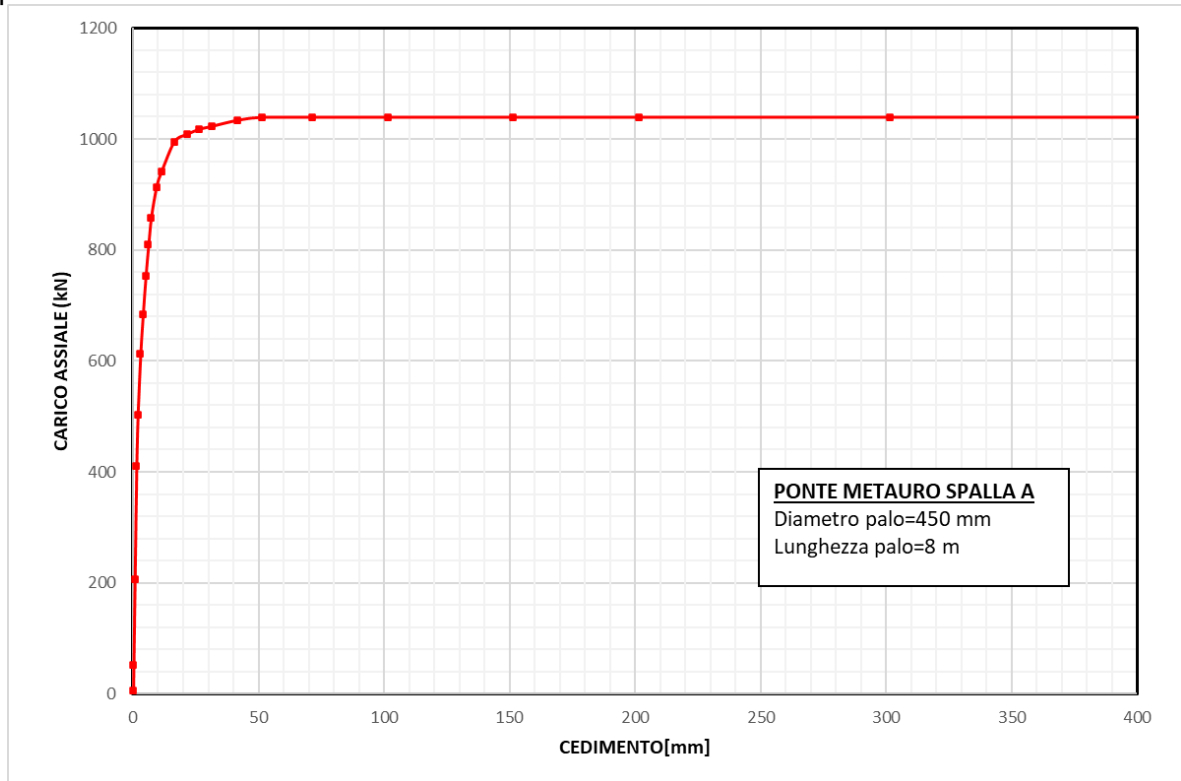


Figura 7-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 8. PONTE METAURO 3 SPALLA B

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

Profondità [m]	Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$N_q$ [-]	$Q_{b,lim}$ [kPa]
0.0 -1.8	ALL-Gh	20.5	32.5	2.5	18.8	3000
1.8 - 4.3	Sub-alt	21.0	27.5	15	7.0	3000
>4.3	SUB	23.5	28.5	40	-	3000

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

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

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.

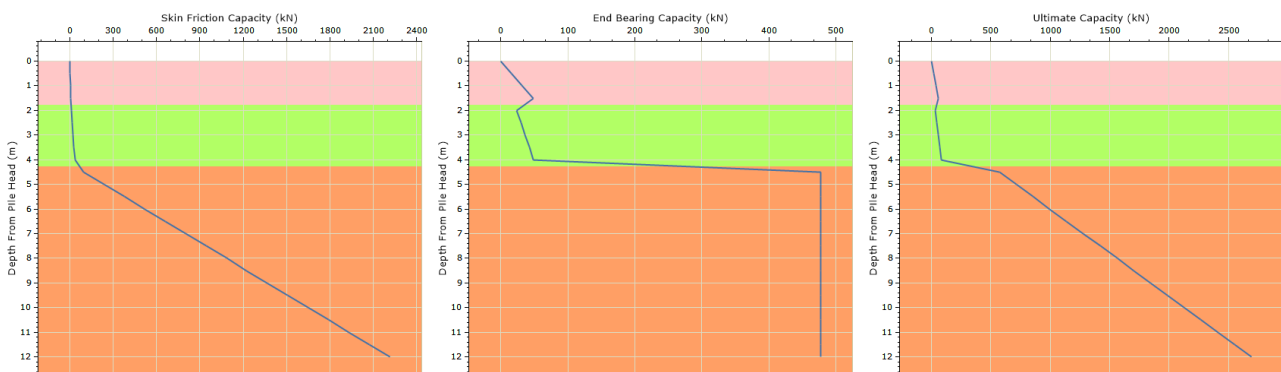


Figura 8-1 – Curve a compressione non fattorizzate

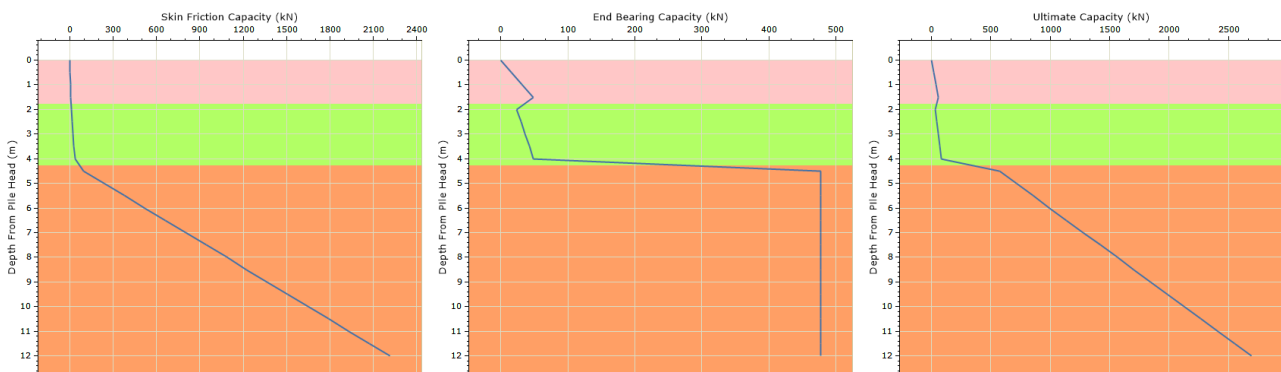


Figura 8-2 – Curve a trazione non fattorizzate

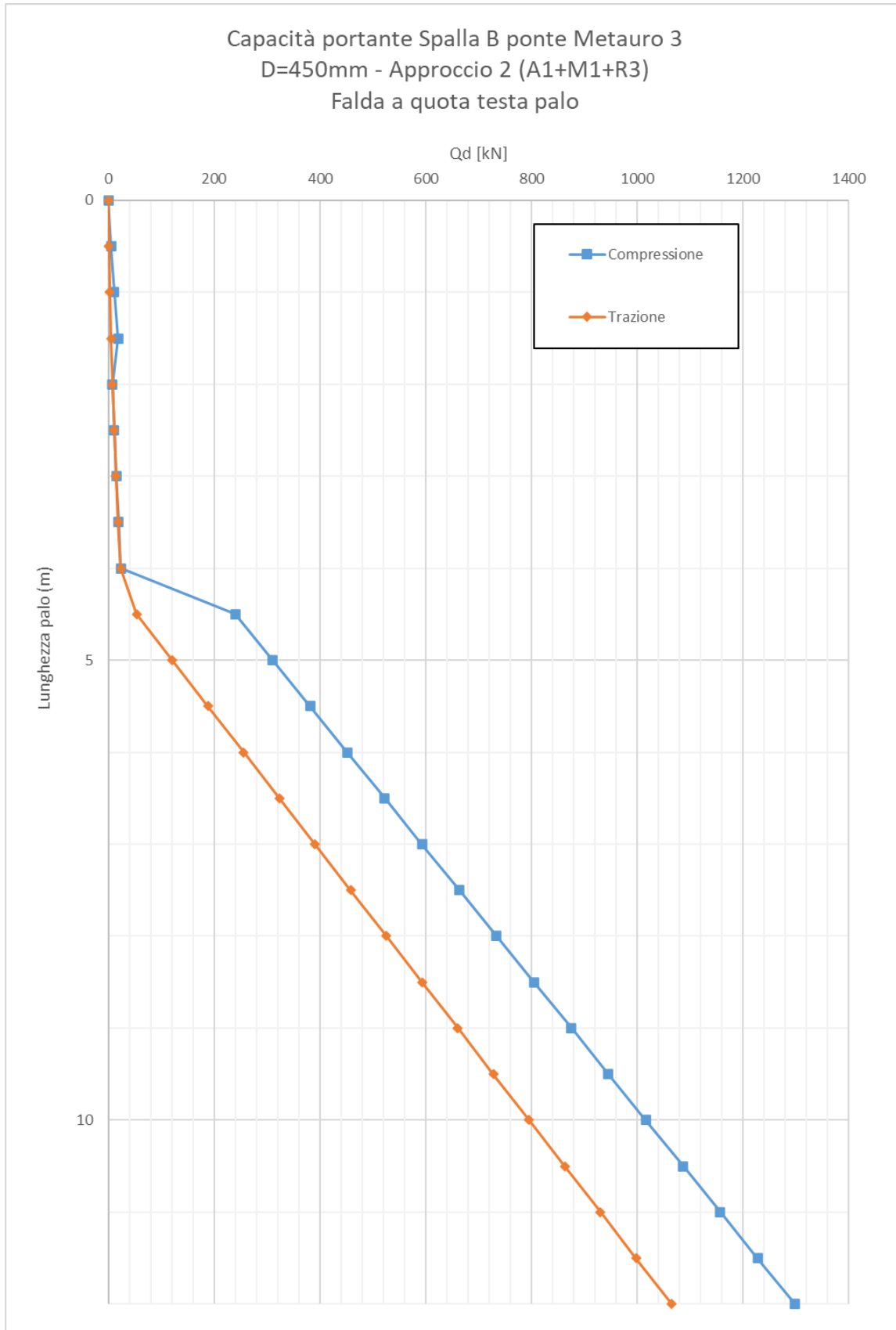
PROGETTAZIONE ATI:



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

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	COMPRESIONE			
								QI/FS (kN)	Qb/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,c (kN)
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0	0
0.5	-0.5	0.601396763	15.98160777	16.58300453	1.955	2.13	2.30	0.30762	6.9636635	1.79	5.48
1	-1	2.405585997	31.96321554	34.36880154	1.955	2.13	2.30	1.230479	13.927327	3.58	11.57934
1.5	-1.5	5.412570787	47.94482331	53.35739409	1.955	2.13	2.30	2.768578	20.890991	5.37	18.29186
2	-2	9.294254613	23.91372474	33.20797935	1.955	2.13	2.30	4.754094	10.419924	7.16	8.02
2.5	-2.5	13.76604896	30.14264885	43.90869781	1.955	2.13	2.30	7.041457	13.134052	8.95	11.22933
3	-3	19.26841374	36.37157296	55.6399867	1.955	2.13	2.30	9.855966	15.84818	10.74	14.96873
3.5	-3.5	25.80134227	42.60049707	68.40183935	1.955	2.13	2.30	13.19762	18.562308	12.52	19.23528
4	-4	33.36483652	48.82942119	82.1942577	1.955	2.13	2.30	17.06641	21.276436	14.31	24.02897
4.5	-4.5	94.9467178	477.1293843	572.0761021	1.955	2.13	2.30	48.5661	207.89951	16.10	240.3625
5	-5	236.3185003	477.1293843	713.4478846	1.955	2.13	2.30	120.879	207.89951	17.89	310.8862
5.5	-5.5	377.6905938	477.1293843	854.8199781	1.955	2.13	2.30	193.1921	207.89951	19.68	381.41
6	-6	519.0633603	477.1293843	996.1927446	1.955	2.13	2.30	265.5056	207.89951	21.47	451.9342
6.5	-6.5	660.4355839	477.1293843	1137.564968	1.955	2.13	2.30	337.8187	207.89951	23.26	522.4582
7	-7	801.8077792	477.1293843	1278.937163	1.955	2.13	2.30	410.1319	207.89951	25.05	592.9821
7.5	-7.5	943.1800141	477.1293843	1420.309398	1.955	2.13	2.30	482.445	207.89951	26.84	663.506
8	-8	1084.552221	477.1293843	1561.681605	1.955	2.13	2.30	554.7582	207.89951	28.63	734.0299
8.5	-8.5	1225.924427	477.1293843	1703.053812	1.955	2.13	2.30	627.0713	207.89951	30.42	804.5538
9	-9	1367.296662	477.1293843	1844.426047	1.955	2.13	2.30	699.3845	207.89951	32.21	875.0778
9.5	-9.5	1508.668869	477.1293843	1985.798253	1.955	2.13	2.30	771.6976	207.89951	34.00	945.6017
10	-10	1650.041189	477.1293843	2127.170573	1.955	2.13	2.30	844.0108	207.89951	35.78	1016.126
10.5	-10.5	1791.413282	477.1293843	2268.542666	1.955	2.13	2.30	916.3239	207.89951	37.57	1086.65
11	-11	1932.785771	477.1293843	2409.915156	1.955	2.13	2.30	988.6372	207.89951	39.36	1157.174
11.5	-11.5	2074.157865	477.1293843	2551.287249	1.955	2.13	2.30	1060.95	207.89951	41.15	1227.697
12	-12	2215.530241	477.1293843	2692.659626	1.955	2.13	2.30	1133.264	207.89951	42.94	1298.221

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	TRAZIONE			
								QI/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,t (kN)	
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0	
0.5	-0.5	0.601396763	15.98160777	16.58300453	1.955	2.13	2.30	0.28301	0.954259	1.237269	
1	-1	2.405585997	31.96321554	34.36880154	1.955	2.13	2.30	1.13204	1.908518	3.040558	
1.5	-1.5	5.412570787	47.94482331	53.35739409	1.955	2.13	2.30	2.547092	2.862776	5.409868	
2	-2	9.294254613	23.91372474	33.20797935	1.955	2.13	2.30	4.373767	3.817035	8.190802	
2.5	-2.5	13.76604896	30.14264885	43.90869781	1.955	2.13	2.30	6.478141	4.771294	11.24943	
3	-3	19.26841374	36.37157296	55.6399867	1.955	2.13	2.30	9.067489	5.725553	14.79304	
3.5	-3.5	25.80134227	42.60049707	68.40183935	1.955	2.13	2.30	12.14181	6.679811	18.82162	
4	-4	33.36483652	48.82942119	82.1942577	1.955	2.13	2.30	15.7011	7.63407	23.33517	
4.5	-4.5	94.9467178	477.1293843	572.0761021	1.955	2.13	2.30	44.68081	8.588329	53.26914	
5	-5	236.3185003	477.1293843	713.4478846	1.955	2.13	2.30	111.2087	9.542588	120.7513	
5.5	-5.5	377.6905938	477.1293843	854.8199781	1.955	2.13	2.30	177.7368	10.49685	188.2336	
6	-6	519.0633603	477.1293843	996.1927446	1.955	2.13	2.30	244.2651	11.45111	255.7162	
6.5	-6.5	660.4355839	477.1293843	1137.564968	1.955	2.13	2.30	310.7932	12.40536	323.1986	
7	-7	801.8077792	477.1293843	1278.937163	1.955	2.13	2.30	377.3213	13.35962	390.6809	
7.5	-7.5	943.1800141	477.1293843	1420.309398	1.955	2.13	2.30	443.8494	14.31388	458.1633	
8	-8	1084.552221	477.1293843	1561.681605	1.955	2.13	2.30	510.3775	15.26814	525.6457	
8.5	-8.5	1225.924427	477.1293843	1703.053812	1.955	2.13	2.30	576.9056	16.2224	593.128	
9	-9	1367.296662	477.1293843	1844.426047	1.955	2.13	2.30	643.4337	17.17666	660.6104	
9.5	-9.5	1508.668869	477.1293843	1985.798253	1.955	2.13	2.30	709.9618	18.13092	728.0927	
10	-10	1650.041189	477.1293843	2127.170573	1.955	2.13	2.30	776.49	19.08518	795.5751	
10.5	-10.5	1791.413282	477.1293843	2268.542666	1.955	2.13	2.30	843.018	20.03943	863.0574	
11	-11	1932.785771	477.1293843	2409.915156	1.955	2.13	2.30	909.5462	20.99369	930.5399	
11.5	-11.5	2074.157865	477.1293843	2551.287249	1.955	2.13	2.30	976.0743	21.94795	998.0222	
12	-12	2215.530241	477.1293843	2692.659626	1.955	2.13	2.30	1042.602	22.90221	1065.505	



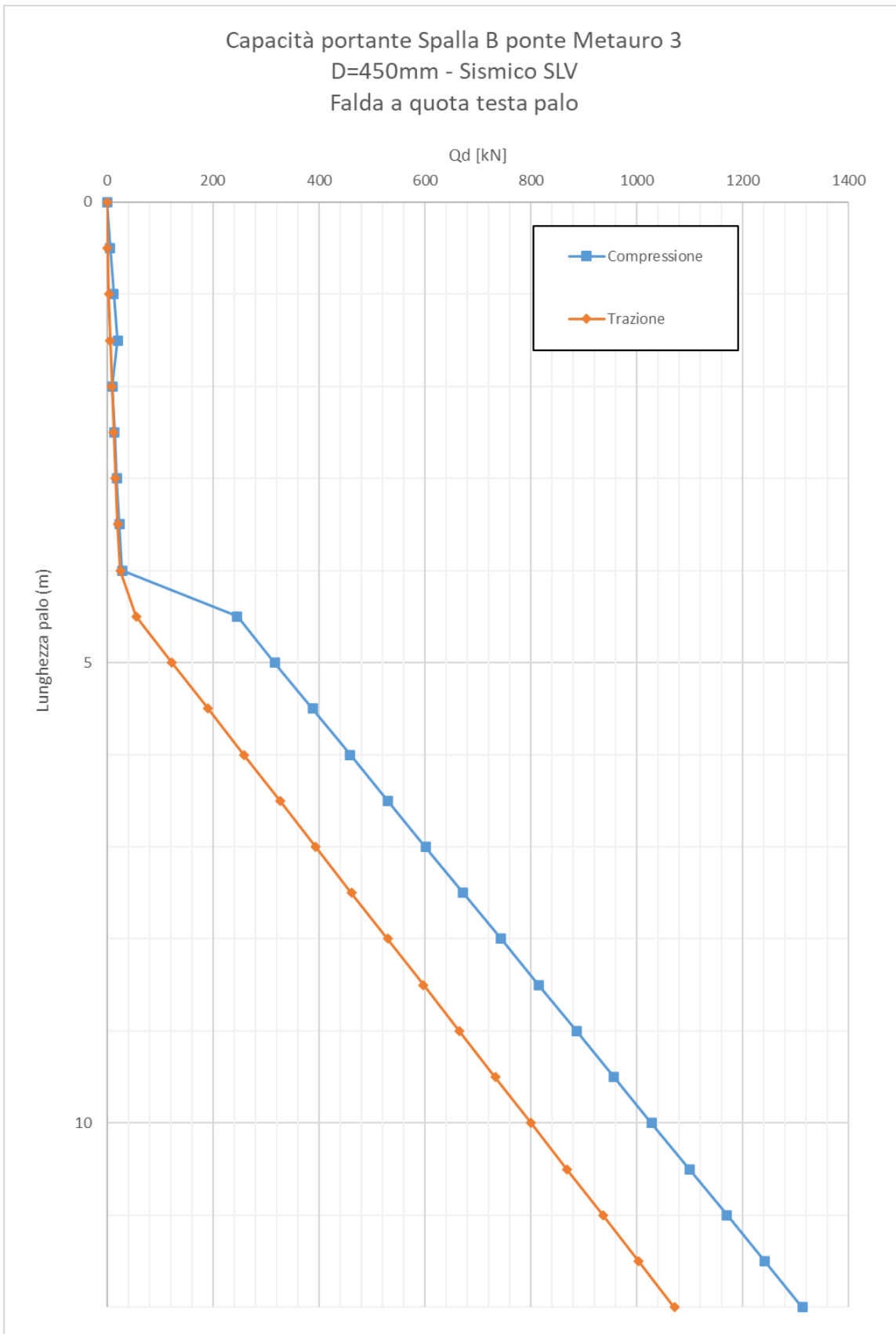
PROGETTAZIONE ATI:

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

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	COMPRESSIONE			
								Ql/FS (kN)	Qb/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,c (kN)
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0	0
0.5	-0.5	0.601396763	15.98160777	16.58300453	1.955	2.13	2.30	0.30762	6.9636635	1.19	6.08
1	-1	2.405585997	31.96321554	34.36880154	1.955	2.13	2.30	1.230479	13.927327	2.39	12.77216
1.5	-1.5	5.412570787	47.94482331	53.35739409	1.955	2.13	2.30	2.768578	20.890991	3.58	20.0811
2	-2	9.294254613	23.91372474	33.20797935	1.955	2.13	2.30	4.754094	10.419924	4.77	10.40
2.5	-2.5	13.76604896	30.14264885	43.90869781	1.955	2.13	2.30	7.041457	13.134052	5.96	14.21139
3	-3	19.26841374	36.37157296	55.6399867	1.955	2.13	2.30	9.855966	15.84818	7.16	18.54721
3.5	-3.5	25.80134227	42.60049707	68.40183935	1.955	2.13	2.30	13.19762	18.562308	8.35	23.41016
4	-4	33.36483652	48.82942119	82.1942577	1.955	2.13	2.30	17.06641	21.276436	9.54	28.80026
4.5	-4.5	94.9467178	477.1293843	572.0761021	1.955	2.13	2.30	48.5661	207.89951	10.74	245.7302
5	-5	236.3185003	477.1293843	713.4478846	1.955	2.13	2.30	120.879	207.89951	11.93	316.8503
5.5	-5.5	377.6905938	477.1293843	854.8199781	1.955	2.13	2.30	193.1921	207.89951	13.12	387.9706
6	-6	519.0633603	477.1293843	996.1927446	1.955	2.13	2.30	265.5056	207.89951	14.31	459.0912
6.5	-6.5	660.4355839	477.1293843	1137.564968	1.955	2.13	2.30	337.8187	207.89951	15.51	530.2115
7	-7	801.8077792	477.1293843	1278.937163	1.955	2.13	2.30	410.1319	207.89951	16.70	601.3318
7.5	-7.5	943.1800141	477.1293843	1420.309398	1.955	2.13	2.30	482.445	207.89951	17.89	672.4522
8	-8	1084.552221	477.1293843	1561.681605	1.955	2.13	2.30	554.7582	207.89951	19.09	743.5725
8.5	-8.5	1225.924427	477.1293843	1703.053812	1.955	2.13	2.30	627.0713	207.89951	20.28	814.6928
9	-9	1367.296662	477.1293843	1844.426047	1.955	2.13	2.30	699.3845	207.89951	21.47	885.8132
9.5	-9.5	1508.668869	477.1293843	1985.798253	1.955	2.13	2.30	771.6976	207.89951	22.66	956.9335
10	-10	1650.041189	477.1293843	2127.170573	1.955	2.13	2.30	844.0108	207.89951	23.86	1028.054
10.5	-10.5	1791.413282	477.1293843	2268.542666	1.955	2.13	2.30	916.3239	207.89951	25.05	1099.174
11	-11	1932.785771	477.1293843	2409.915156	1.955	2.13	2.30	988.6372	207.89951	26.24	1170.295
11.5	-11.5	2074.157865	477.1293843	2551.287249	1.955	2.13	2.30	1060.95	207.89951	27.43	1241.415
12	-12	2215.530241	477.1293843	2692.659626	1.955	2.13	2.30	1133.264	207.89951	28.63	1312.535

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	0.601396763	15.98160777	16.58300453	1.955	2.13	2.30	0.28301	1.192823	1.475834
1	-1	2.405585997	31.96321554	34.36880154	1.955	2.13	2.30	1.13204	2.385647	3.517687
1.5	-1.5	5.412570787	47.94482331	53.35739409	1.955	2.13	2.30	2.547092	3.57847	6.125563
2	-2	9.294254613	23.91372474	33.20797935	1.955	2.13	2.30	4.373767	4.771294	9.145061
2.5	-2.5	13.76604896	30.14264885	43.90869781	1.955	2.13	2.30	6.478141	5.964117	12.44226
3	-3	19.26841374	36.37157296	55.6399867	1.955	2.13	2.30	9.067489	7.156941	16.22443
3.5	-3.5	25.80134227	42.60049707	68.40183935	1.955	2.13	2.30	12.14181	8.349764	20.49157
4	-4	33.36483652	48.82942119	82.1942577	1.955	2.13	2.30	15.7011	9.542588	25.24369
4.5	-4.5	94.9467178	477.1293843	572.0761021	1.955	2.13	2.30	44.68081	10.73541	55.41622
5	-5	236.3185003	477.1293843	713.4478846	1.955	2.13	2.30	111.2087	11.92823	123.1369
5.5	-5.5	377.6905938	477.1293843	854.8199781	1.955	2.13	2.30	177.7368	13.12106	190.8578
6	-6	519.0633603	477.1293843	996.1927446	1.955	2.13	2.30	244.2651	14.31388	258.579
6.5	-6.5	660.4355839	477.1293843	1137.564968	1.955	2.13	2.30	310.7932	15.5067	326.2999
7	-7	801.8077792	477.1293843	1278.937163	1.955	2.13	2.30	377.3213	16.69953	394.0208
7.5	-7.5	943.1800141	477.1293843	1420.309398	1.955	2.13	2.30	443.8494	17.89235	461.7418
8	-8	1084.552221	477.1293843	1561.681605	1.955	2.13	2.30	510.3775	19.08518	529.4627
8.5	-8.5	1225.924427	477.1293843	1703.053812	1.955	2.13	2.30	576.9056	20.278	597.1836
9	-9	1367.296662	477.1293843	1844.426047	1.955	2.13	2.30	643.4337	21.47082	664.9045
9.5	-9.5	1508.668869	477.1293843	1985.798253	1.955	2.13	2.30	709.9618	22.66365	732.6255
10	-10	1650.041189	477.1293843	2127.170573	1.955	2.13	2.30	776.49	23.85647	800.3464
10.5	-10.5	1791.413282	477.1293843	2268.542666	1.955	2.13	2.30	843.018	25.04929	868.0673
11	-11	1932.785771	477.1293843	2409.915156	1.955	2.13	2.30	909.5462	26.24212	935.7884
11.5	-11.5	2074.157865	477.1293843	2551.287249	1.955	2.13	2.30	976.0743	27.43494	1003.509
12	-12	2215.530241	477.1293843	2692.659626	1.955	2.13	2.30	1042.602	28.62776	1071.23

PROGETTAZIONE ATI:



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 25 mm.

$M_{plas} = 600$  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  $\sigma_{lim} = K_{\sigma} \cdot \sigma_{v0}' + K_{\sigma} \cdot c$ . 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 $\gamma_Q$	$\gamma_{ef}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_r$	
SU	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	$\geq 10$	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-alt	98.20	21	27.5	15	27.5	15
<input checked="" type="checkbox"/>	strato 3	SUb	95.70	23.5	28.5	40	28.5	40
<input type="checkbox"/>	strato 4							
<input type="checkbox"/>	strato 5							
<input type="checkbox"/>	strato 6							

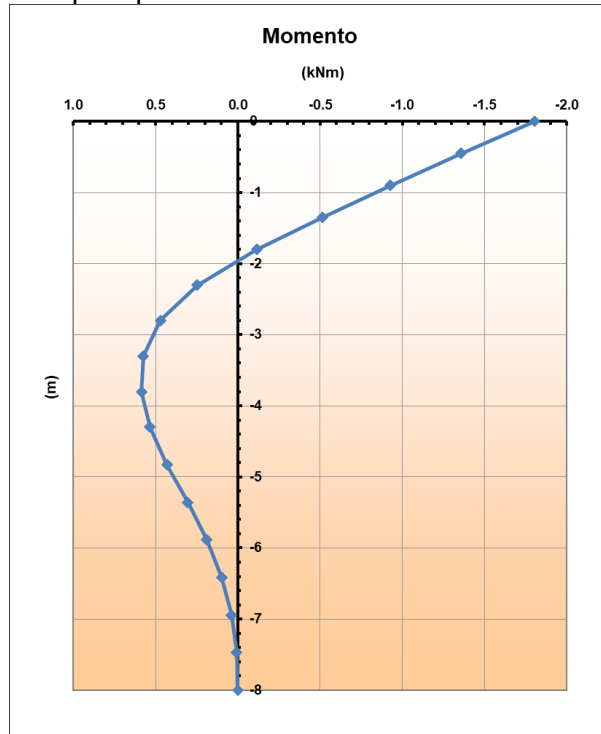
$Z_w$	100	[m]	Quota falda
q	0	[kPa]	Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni)
Mu	600	[kNm]	Momento ultimo della sezione
D	0.45	[m]	Diametro del palo
L	8	[m]	Lunghezza del palo

**Risultati:**

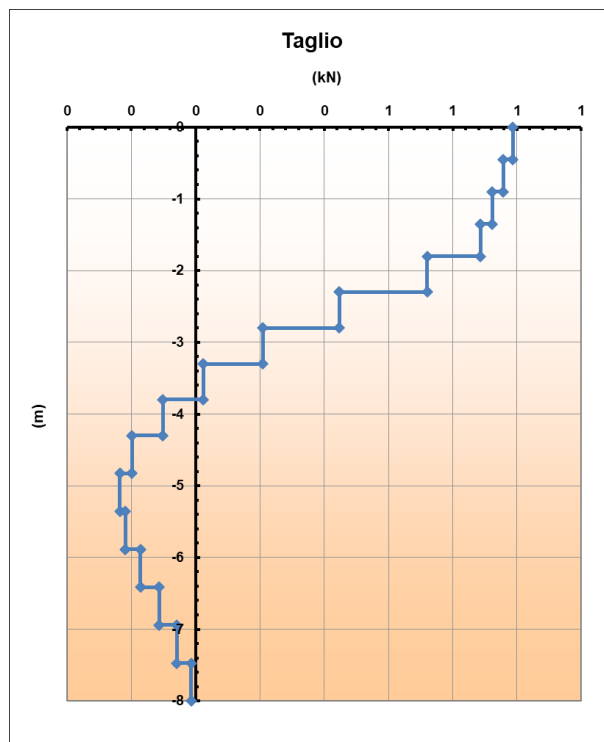
	H medio		H minimo	
Palo lungo	528 (kN)		528 (kN)	
Palo intermedio	1486 (kN)		1486 (kN)	
Palo corto	4745 (kN)		4745 (kN)	
<b>H<sub>med</sub></b>	<b>528 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>527.7 (kN)</b>
<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/<math>\xi_3</math> ; R<sub>min</sub>/<math>\xi_4</math>)</b>			310.42 (kN)	
<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub> · <math>\gamma_r</math></b>			<b>238.78 (kN)</b>	
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>			<b>1.00 (kN)</b>	
<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>			<b>238.78</b>	

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:



**Figura 8-3 – Momento flettente agente per carico unitario**



**Figura 8-4 –Taglio agente per carico unitario**

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

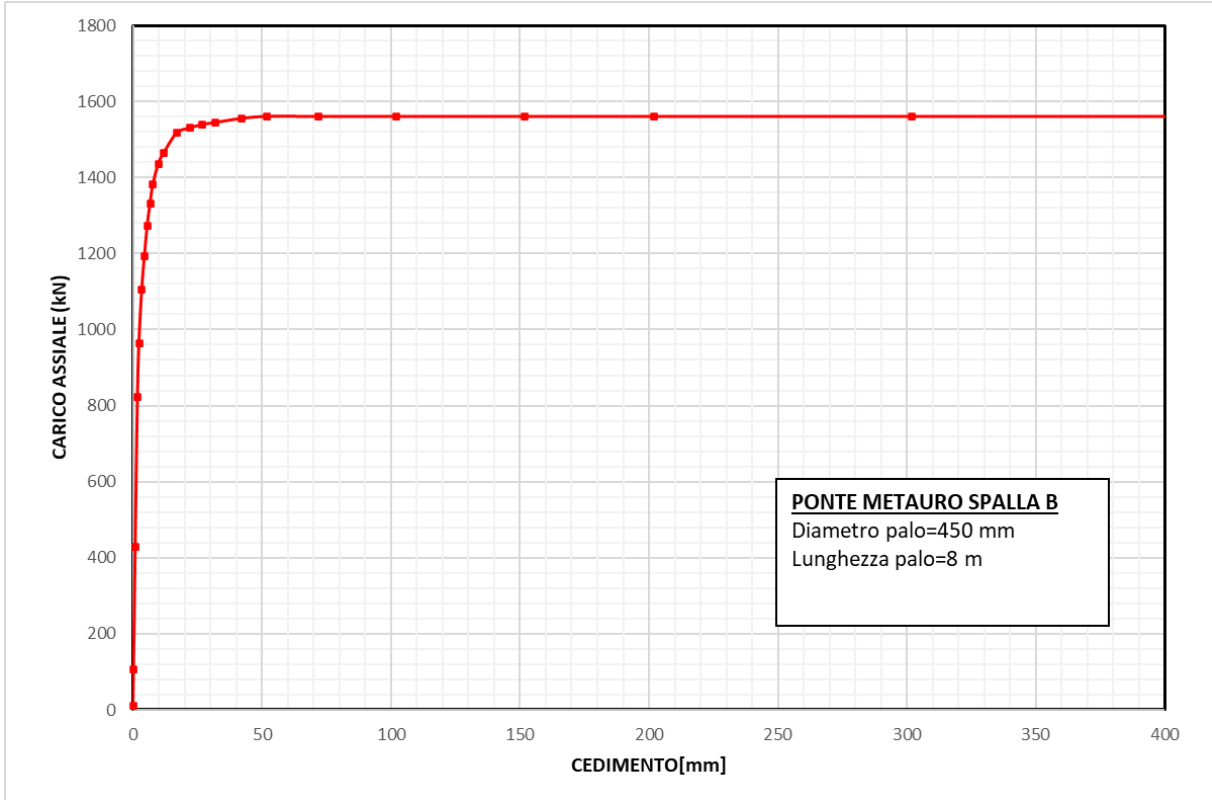


Figura 8-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 9. PONTE METAURO 3 PILA 1

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]
0.0-0.4	ALL-Gh	20.5	32.5	2.5	15.7	3000
0.4-2.0	Sub-alt	21.0	27.5	15	6.6	3000
>2.0	SUB	23.5	28.5	40	-	3000

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

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

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.

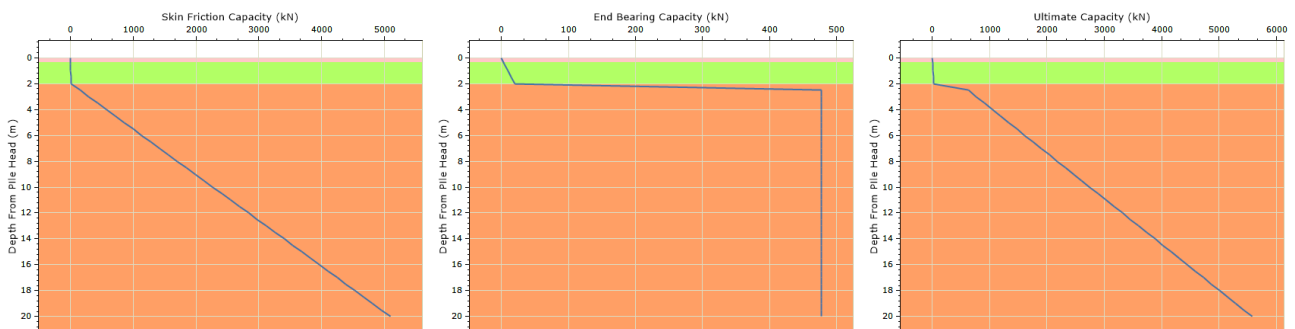


Figura 9-1 – Curve a compressione non fattorizzate

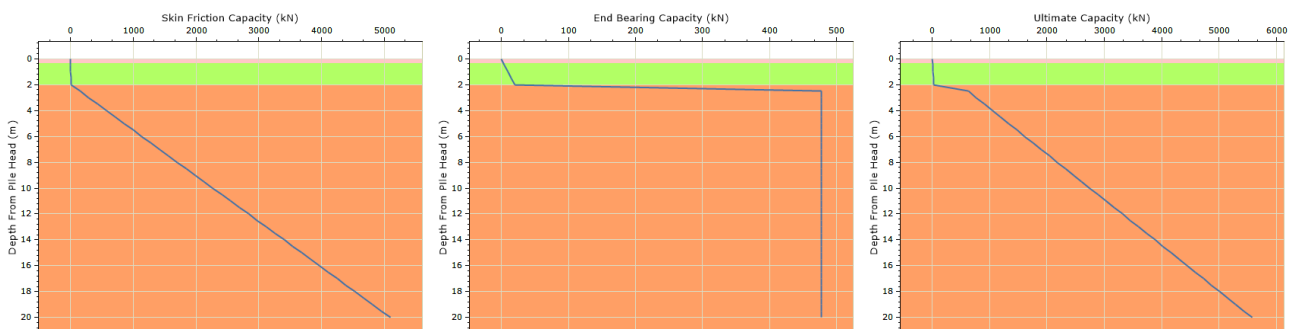
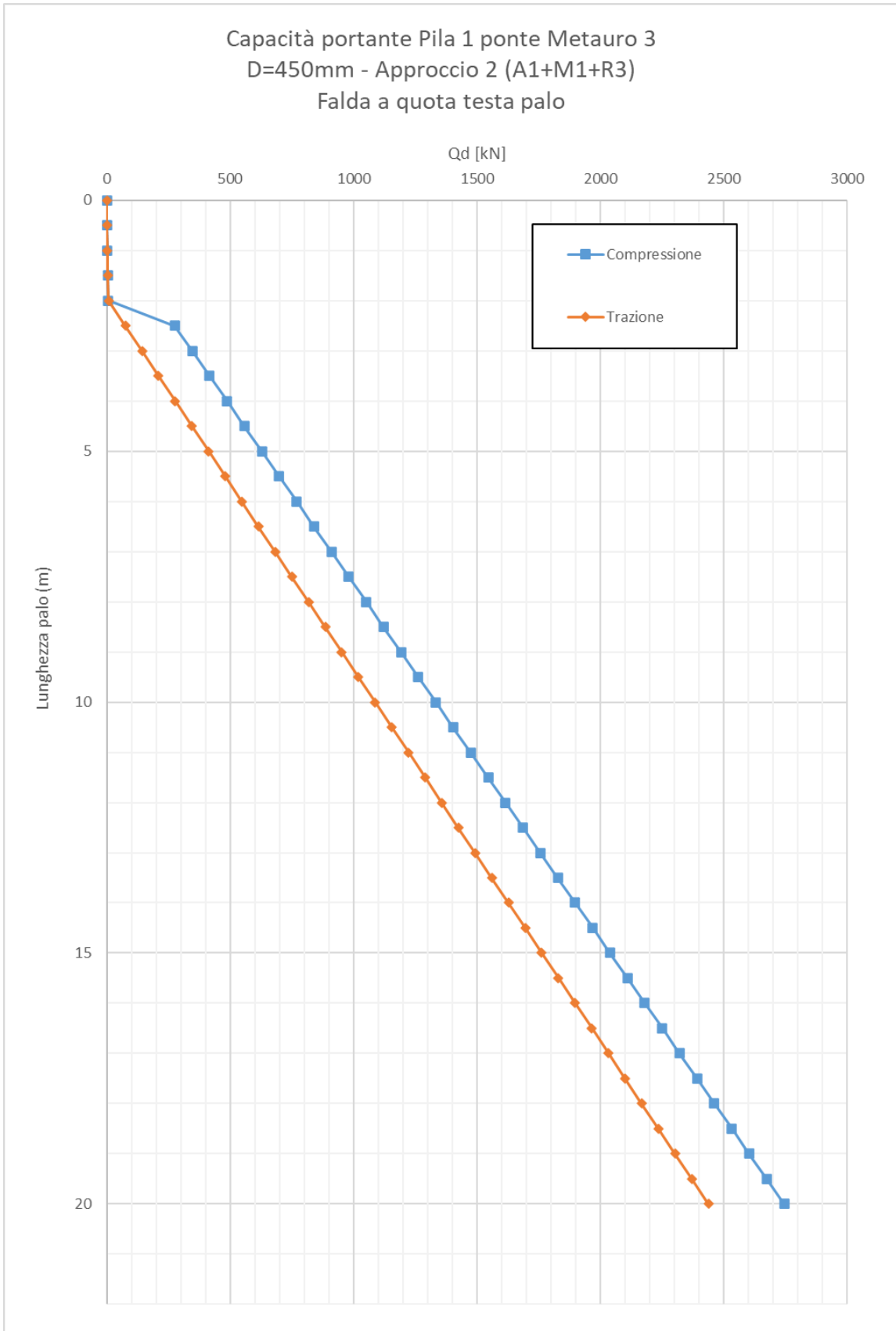


Figura 9-2 – Curve a trazione non fattorizzate

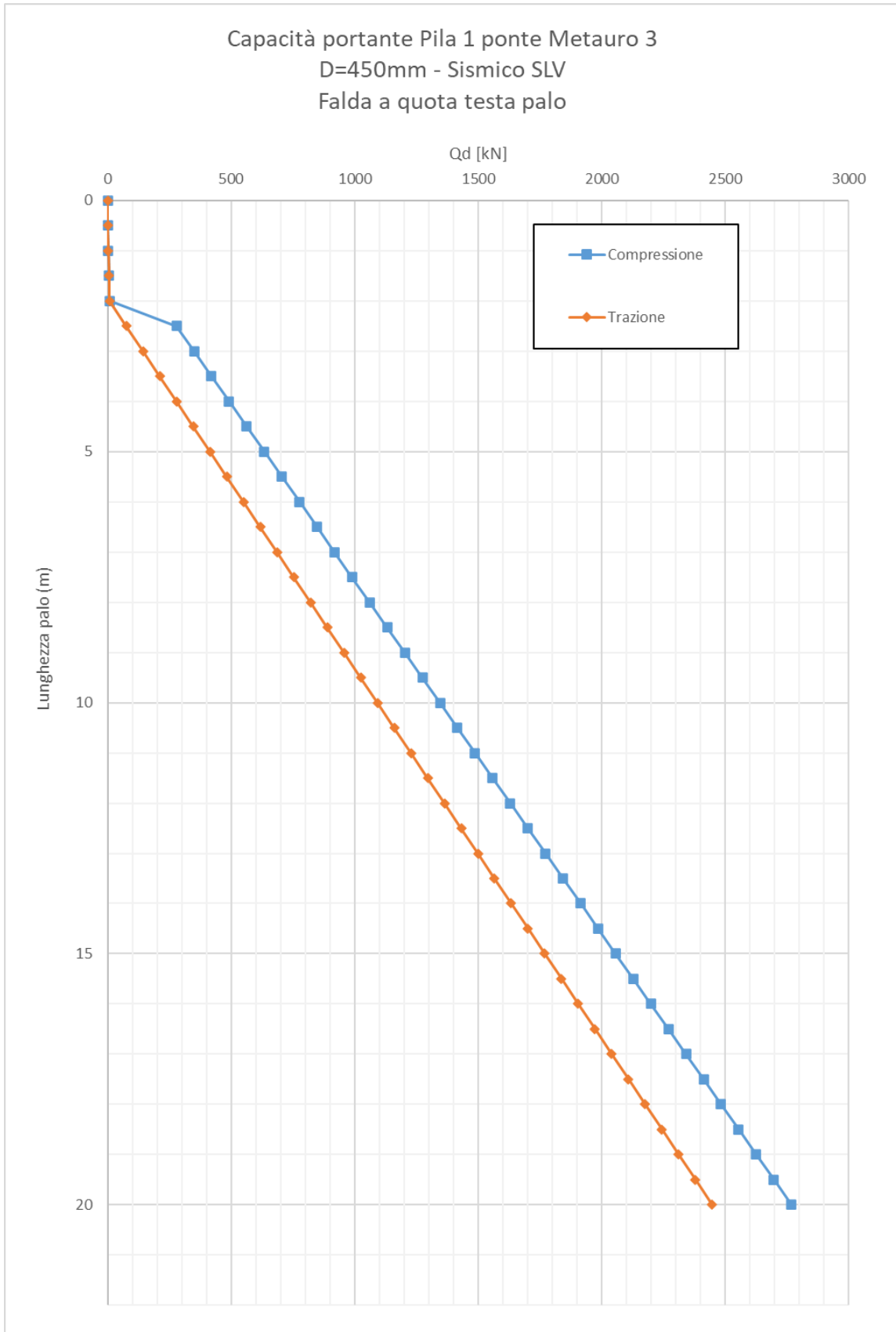
PROGETTAZIONE ATI:











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 25 mm.

$M_{plas} = 600$  kNm

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

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

**Input:**

coefficienti parziali		A		M		R	
Metodo di calcolo		permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_r$	
S.L.U.	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	$\geq 10$	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-alt	99.60	21	27.5	15	27.5	15
<input checked="" type="checkbox"/>	strato 3	SUB	98.00	23.5	28.5	40	28.5	40
<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 coefficienti parziali sulle azioni)  
 $M_u$  600 [kNm] Momento ultimo della sezione  
 $D$  0.45 [m] Diametro del palo  
 $L$  16 [m] Lunghezza del palo

**Risultati:**

	H medio		H minimo	
Palo lungo	656 (kN)		656 (kN)	
Palo intermedio	7062 (kN)		7062 (kN)	
Palo corto	18778 (kN)		18778 (kN)	
$H_{med}$	656 (kN)	Palo lungo	$H_{min}$	655.6 (kN) Palo lungo
$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$			385.62 (kN)	
$H_d = H_k/\gamma_r$			296.63 (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)	
$FS = H_d / F_d =$			296.63	

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

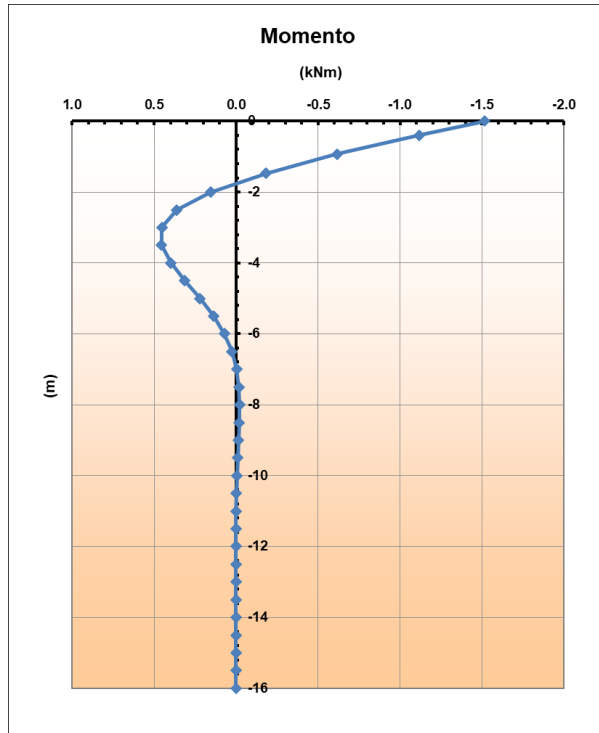


Figura 9-3 – Momento flettente agente per carico unitario

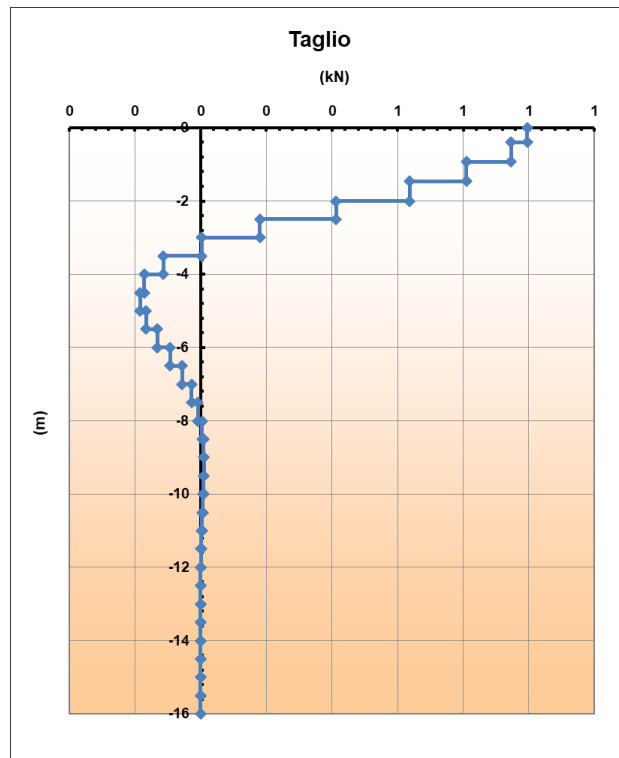


Figura 9-4 –Taglio agente per carico unitario

Curva carico-cedimenti

PROGETTAZIONE ATI:

Si riporta la curva carico-cedimenti.

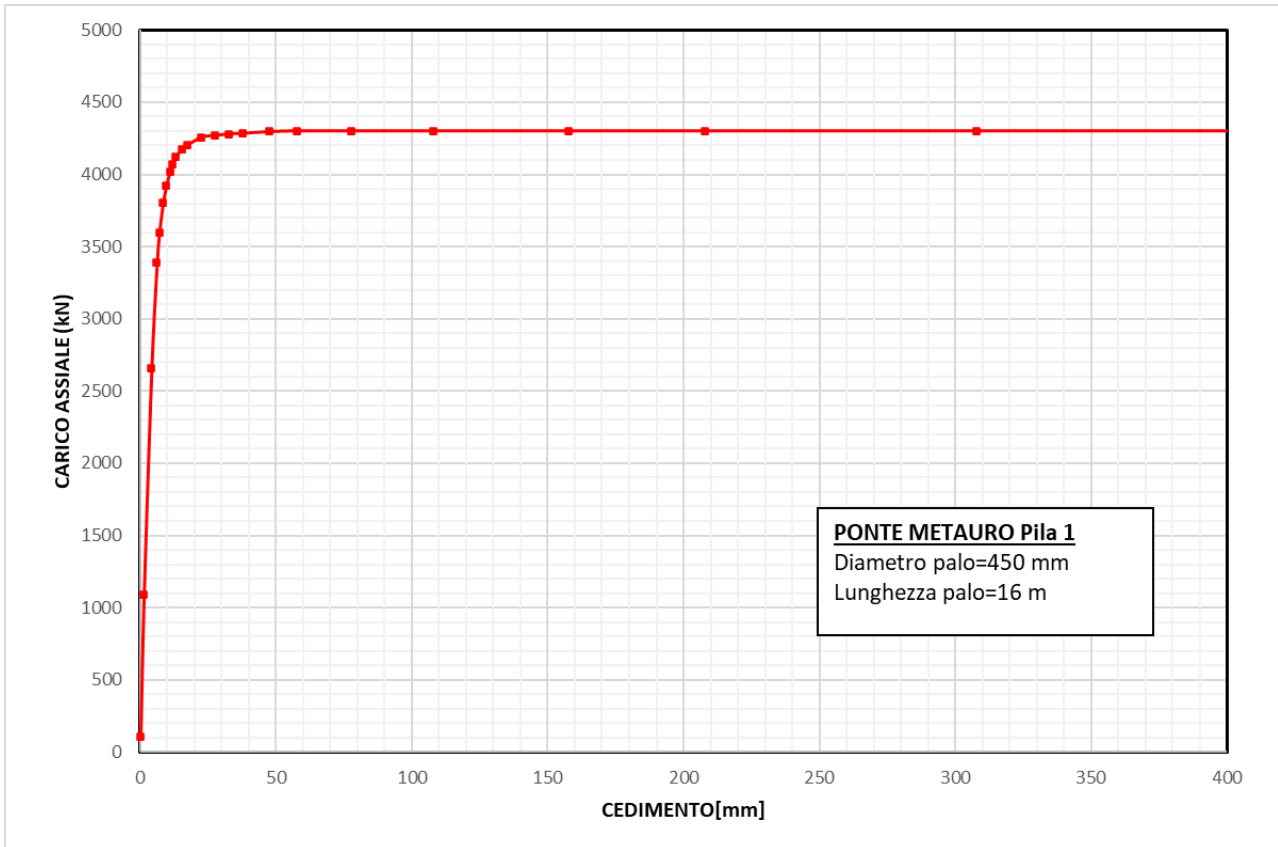


Figura 9-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 10. PONTE METAURO 3 PILA 2

### 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]
0.0-3.8	Sub-alt	21.0	27.5	15	5.6	3000
>3.8	SUB	23.5	28.5	40	-	3000

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

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

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.

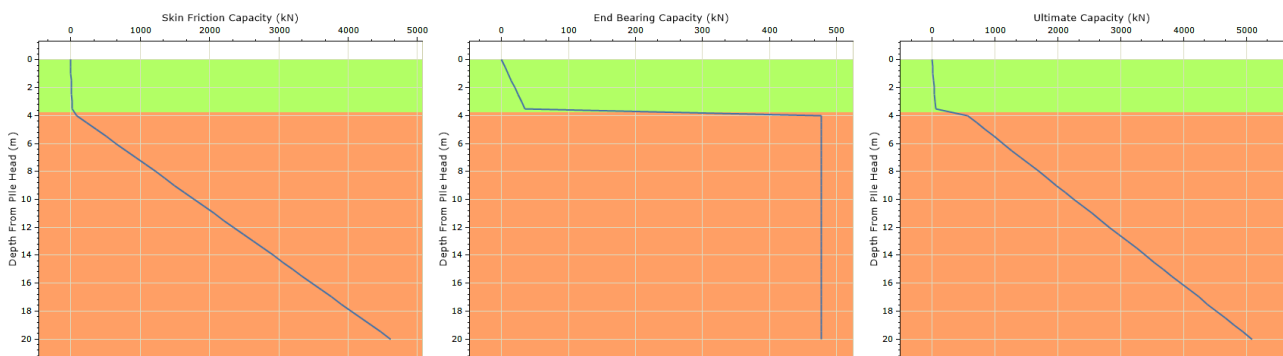


Figura 10-1 – Curve a compressione non fattorizzate

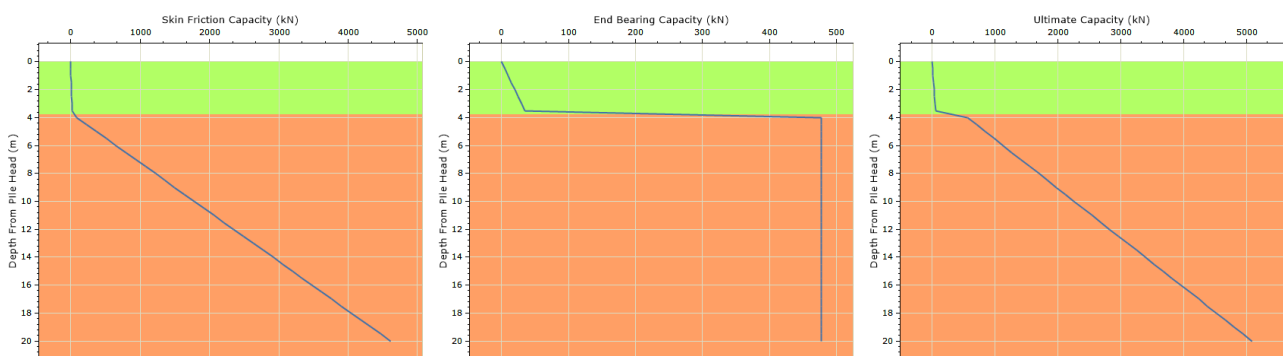
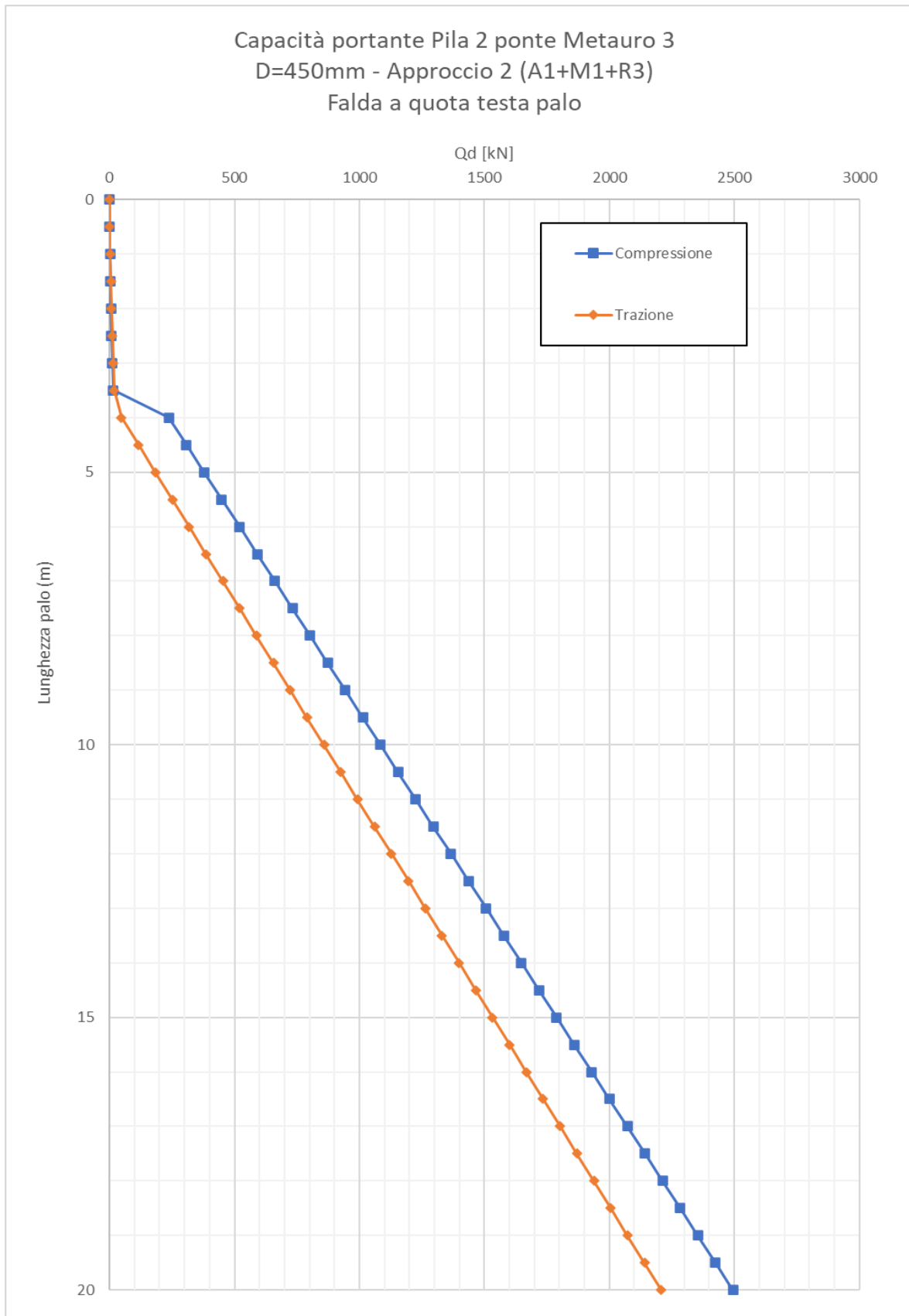


Figura 10-2 – Curve a trazione non fattorizzate

PROGETTAZIONE ATI:

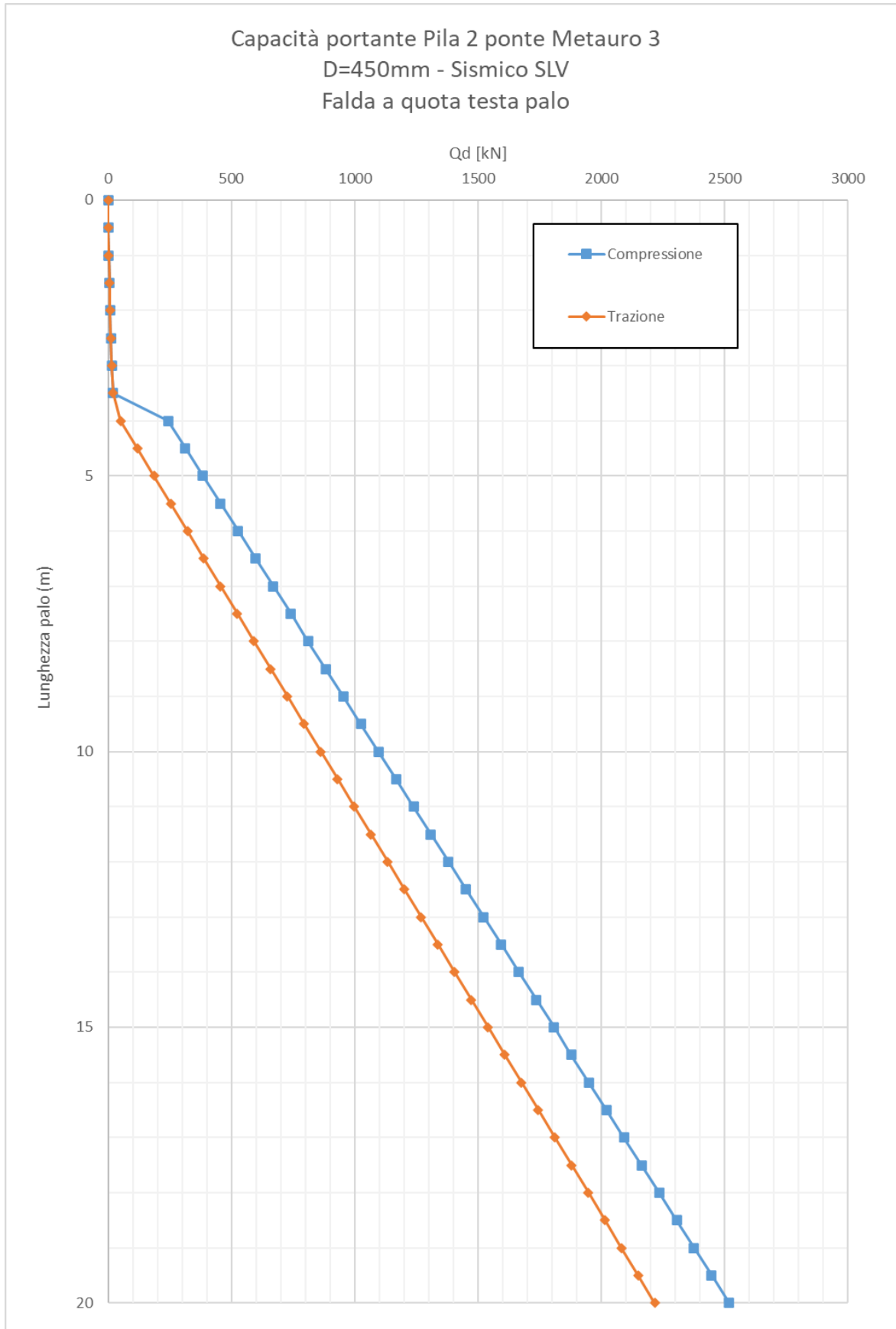






PROGETTAZIONE ATI:





PROGETTAZIONE ATI:

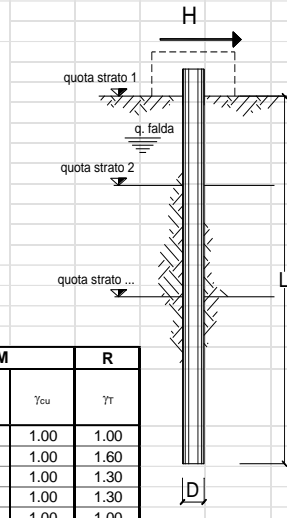
**Carico limite orizzontale**

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 25 mm.

$M_{plas} = 600$  kNm

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

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



**Input:**

coefficienti parziali			A		M		R	
Metodo di calcolo			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_w$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_r$	
S	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	sub-alt	100.00	21	27.5	15	27.5	15
<input checked="" type="checkbox"/>	strato 2	SUb	96.20	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							

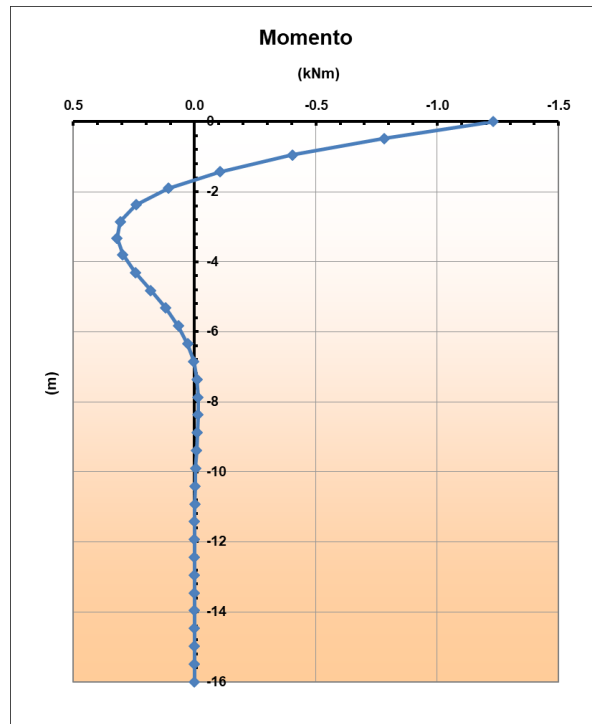
$Z_w$	100	[m]	Quota falda
q	0	[kPa]	Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni)
$M_u$	600	[kNm]	Momento ultimo della sezione
D	0.45	[m]	Diametro del palo
L	16	[m]	Lunghezza del palo

**Risultati:**

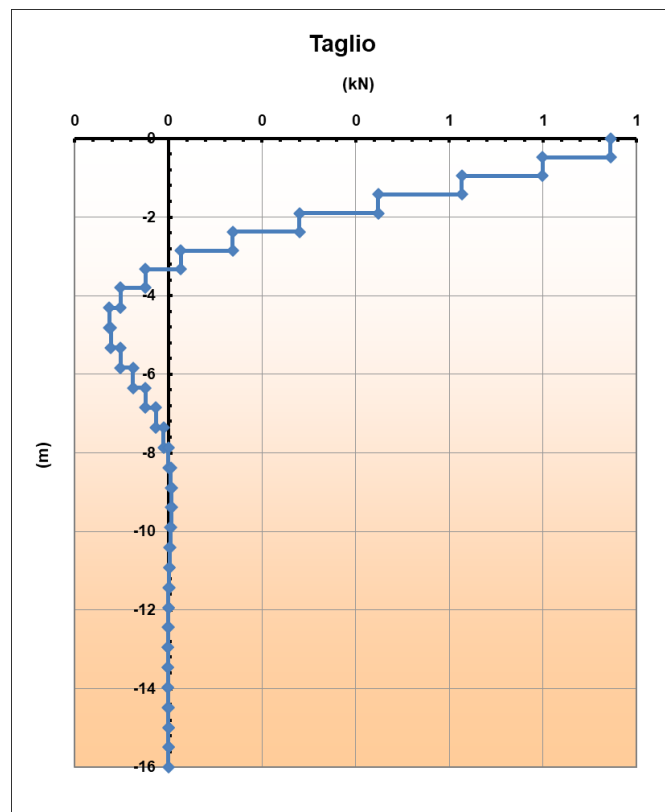
	H medio		H minimo	
Palo lungo	631 (kN)		631 (kN)	
Palo intermedio	6389 (kN)		6389 (kN)	
Palo corto	17816 (kN)		17816 (kN)	
$H_{med}$	631 (kN)	Palo lungo	$H_{min}$	631.2 (kN) Palo lungo
$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4)$			371.32	(kN)
$H_d = H_k/\gamma_r$			285.63	(kN)
Carico Assiale Permanente (G):	G =	1	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)	
$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =$			1.00	(kN)
$FS = H_d / F_d =$			285.63	

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:



**Figura 10-3 – Momento flettente agente per carico unitario**



**Figura 10-4 – Taglio agente per carico unitario**

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

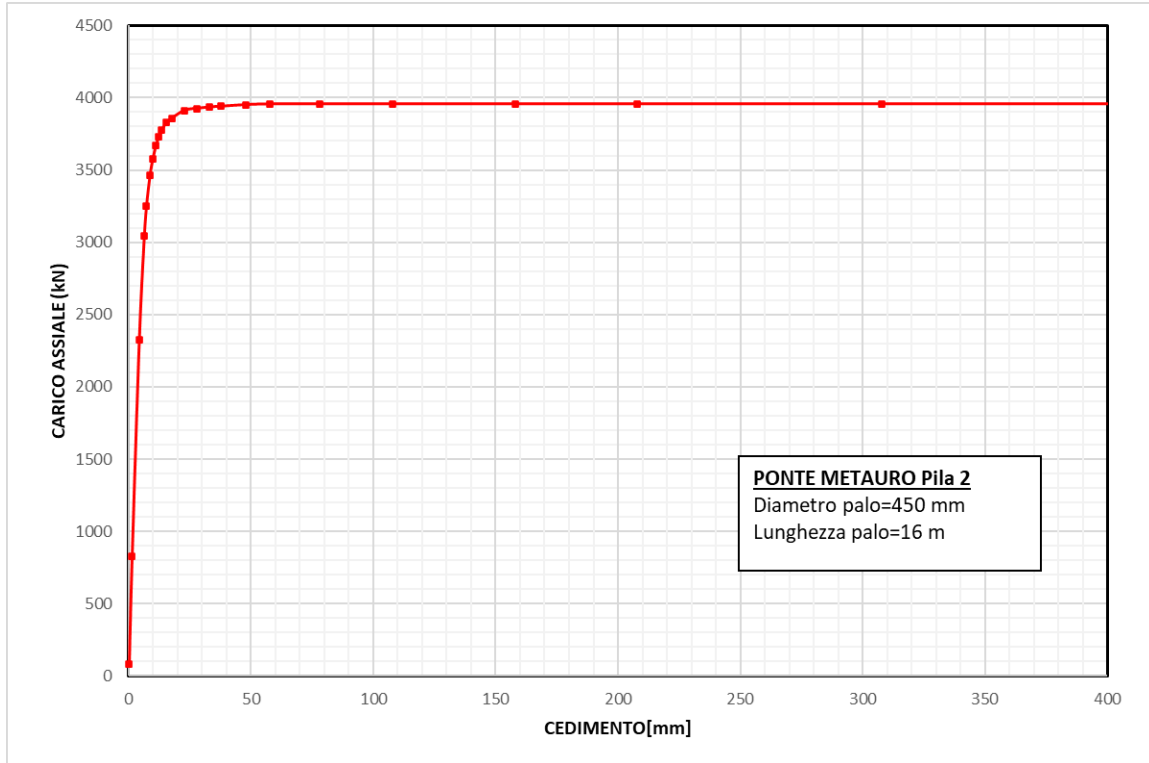


Figura 10-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 11. PONTE METAURO 3 PILA 3

### 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]
0.0-9.4	Sub-alt	21.0	27.5	15	5.6	3000
>9.4	SUB	23.5	28.5	40	-	3000

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

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

Si è considerato:

- falda a quota testa palo.

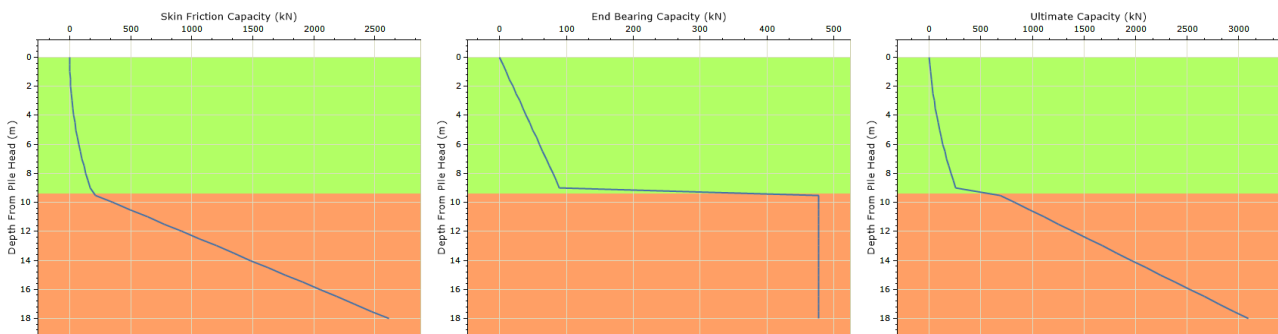


Figura 11-1 – Curve a compressione non fattorizzate

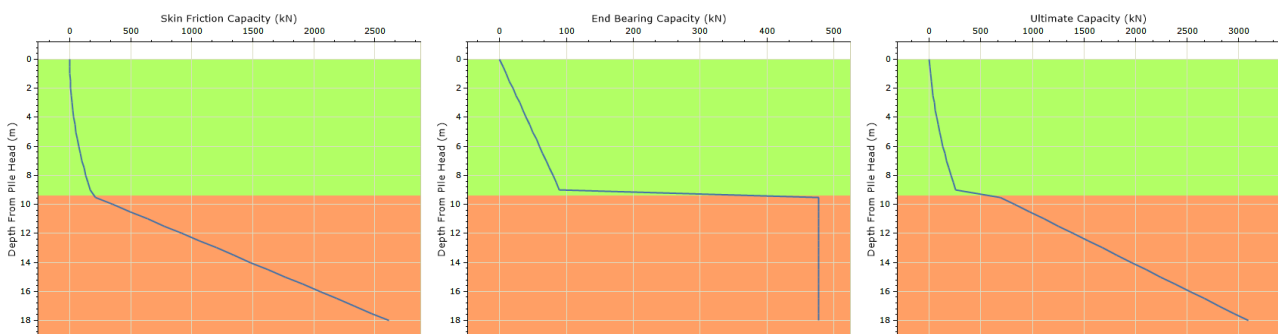


Figura 11-2 – Curve a trazione non fattorizzate

PROGETTAZIONE ATI:

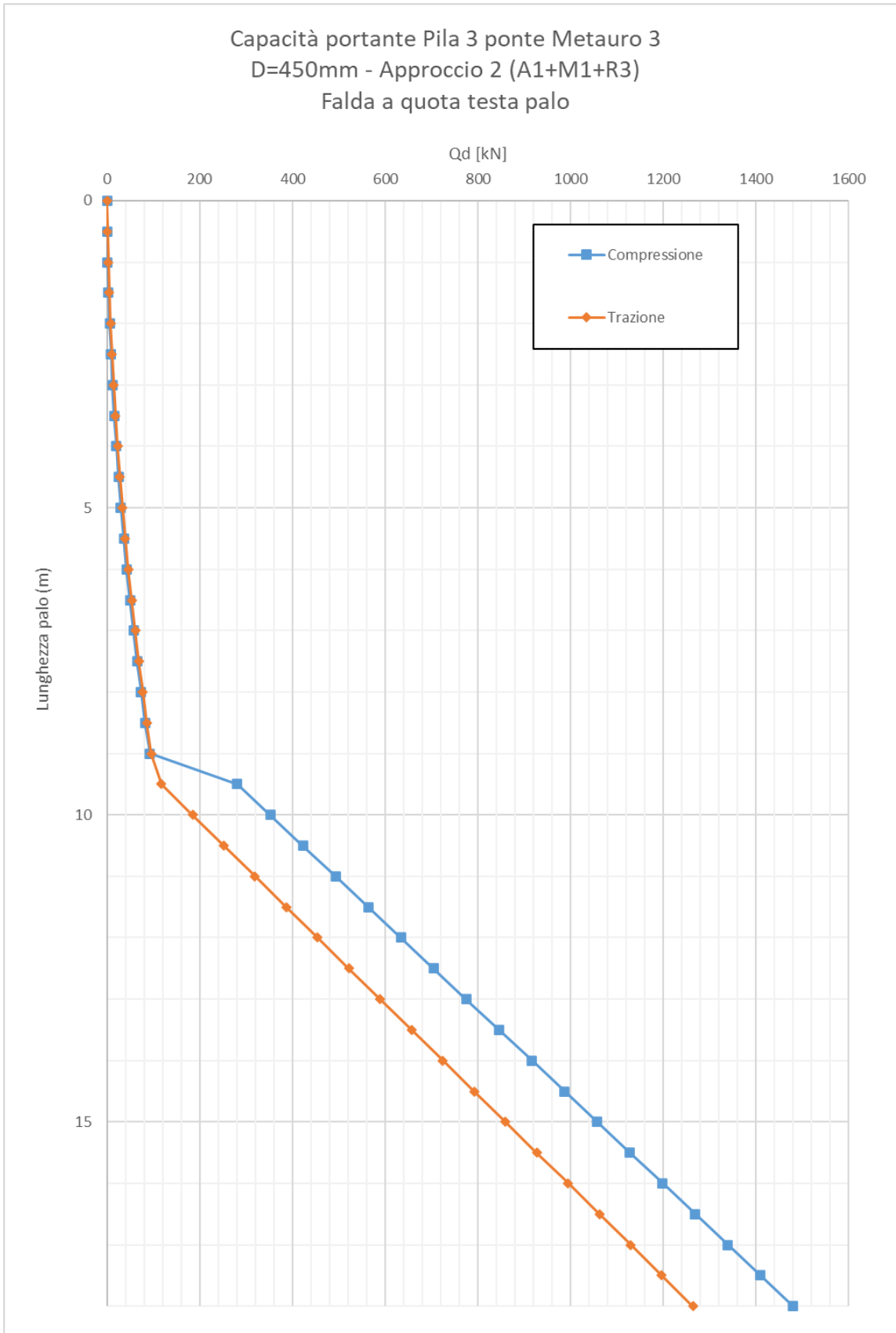


Si riporta il calcolo della capacità portante in funzione della lunghezza del palo (SLU):

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	COMPRESSIONE			
								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	0.515284907	4.983139289	5.498424196	1.955	2.13	2.30	0.263573	2.1713025	1.79	<b>0.65</b>
1	-1	2.061139914	9.966278579	12.02741849	1.955	2.13	2.30	1.054292	4.342605	3.58	<b>1.818426</b>
1.5	-1.5	4.637558648	14.94941787	19.58697652	1.955	2.13	2.30	2.372153	6.5139076	5.37	<b>3.518355</b>
2	-2	8.244552284	19.93255716	28.17710944	1.955	2.13	2.30	4.217162	8.6852101	7.16	<b>5.75</b>
2.5	-2.5	12.88211521	24.91569645	37.79781166	1.955	2.13	2.30	6.589317	10.856513	8.95	<b>8.499654</b>
3	-3	18.55023787	29.89883574	48.4490736	1.955	2.13	2.30	9.488613	13.027815	10.74	<b>11.78102</b>
3.5	-3.5	25.24893442	34.88197502	60.13090944	1.955	2.13	2.30	12.91506	15.199118	12.52	<b>15.58953</b>
4	-4	32.97821529	39.86511431	72.8433296	1.955	2.13	2.30	16.86865	17.37042	14.31	<b>19.92519</b>
4.5	-4.5	41.7380339	44.8482536	86.5862875	1.955	2.13	2.30	21.34938	19.541723	16.10	<b>24.78798</b>
5	-5	51.52842906	49.83139289	101.359822	1.955	2.13	2.30	26.35725	21.713025	17.89	<b>30.17793</b>
5.5	-5.5	62.34941647	54.81453218	117.1639486	1.955	2.13	2.30	31.89228	23.884328	19.68	<b>36.09503</b>
6	-6	74.20095224	59.79767147	133.9986237	1.955	2.13	2.30	37.95445	26.05563	21.47	<b>42.53926</b>
6.5	-6.5	87.08305742	64.78081076	151.8638682	1.955	2.13	2.30	44.54376	28.226933	23.26	<b>49.51064</b>
7	-7	100.9957503	69.76395005	170.7597003	1.955	2.13	2.30	51.66023	30.398235	25.05	<b>57.00917</b>
7.5	-7.5	115.9390023	74.74708934	190.6860917	1.955	2.13	2.30	59.30384	32.569538	26.84	<b>65.03485</b>
8	-8	131.9128264	79.73022863	211.6430551	1.955	2.13	2.30	67.47459	34.74084	28.63	<b>73.58767</b>
8.5	-8.5	148.9172105	84.71336792	233.6305785	1.955	2.13	2.30	76.17249	36.912143	30.42	<b>82.66763</b>
9	-9	166.9521848	89.69650721	256.648692	1.955	2.13	2.30	85.39754	39.083445	32.21	<b>92.27475</b>
9.5	-9.5	210.3961751	477.1293843	687.5255593	1.955	2.13	2.30	107.6195	207.89951	34.00	<b>281.5236</b>
10	-10	351.7677879	477.1293843	828.8971722	1.955	2.13	2.30	179.9324	207.89951	35.78	<b>352.0472</b>
10.5	-10.5	493.138807	477.1293843	970.2681913	1.955	2.13	2.30	252.2449	207.89951	37.57	<b>422.5705</b>
11	-11	634.5101937	477.1293843	1111.639578	1.955	2.13	2.30	324.5576	207.89951	39.36	<b>493.094</b>
11.5	-11.5	775.8816652	477.1293843	1253.011049	1.955	2.13	2.30	396.8704	207.89951	41.15	<b>563.6175</b>
12	-12	917.2526843	477.1293843	1394.382069	1.955	2.13	2.30	469.183	207.89951	42.94	<b>634.1408</b>
12.5	-12.5	1058.624071	477.1293843	1535.753455	1.955	2.13	2.30	541.4957	207.89951	44.73	<b>704.6643</b>
13	-13	1199.995542	477.1293843	1677.124927	1.955	2.13	2.30	613.8085	207.89951	46.52	<b>775.1879</b>
13.5	-13.5	1341.366562	477.1293843	1818.495946	1.955	2.13	2.30	686.121	207.89951	48.31	<b>845.7112</b>
14	-14	1482.737948	477.1293843	1959.867332	1.955	2.13	2.30	758.4337	207.89951	50.10	<b>916.2347</b>
14.5	-14.5	1624.10942	477.1293843	2101.238804	1.955	2.13	2.30	830.7465	207.89951	51.89	<b>986.7582</b>
15	-15	1765.480439	477.1293843	2242.609823	1.955	2.13	2.30	903.059	207.89951	53.68	<b>1057.282</b>
15.5	-15.5	1906.851825	477.1293843	2383.98121	1.955	2.13	2.30	975.3718	207.89951	55.47	<b>1127.805</b>
16	-16	2048.223297	477.1293843	2525.352681	1.955	2.13	2.30	1047.685	207.89951	57.26	<b>1198.329</b>
16.5	-16.5	2189.594316	477.1293843	2666.7237	1.955	2.13	2.30	1119.997	207.89951	59.04	<b>1268.852</b>
17	-17	2330.965703	477.1293843	2808.095087	1.955	2.13	2.30	1192.31	207.89951	60.83	<b>1339.375</b>
17.5	-17.5	2472.337174	477.1293843	2949.466559	1.955	2.13	2.30	1264.623	207.89951	62.62	<b>1409.899</b>
18	-18	2613.708193	477.1293843	3090.837578	1.955	2.13	2.30	1336.935	207.89951	64.41	<b>1480.422</b>

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	TRAZIONE		
								Ql/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,t (kN)
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0
0.5	-0.5	0.515284907	4.983139289	5.498424196	1.955	2.13	2.30	0.242487	0.954259	<b>1.196746</b>
1	-1	2.061139914	9.966278579	12.02741849	1.955	2.13	2.30	0.969948	1.908518	<b>2.878466</b>
1.5	-1.5	4.637558648	14.94941787	19.58697652	1.955	2.13	2.30	2.182381	2.862776	<b>5.045157</b>
2	-2	8.244552284	19.93255716	28.17710944	1.955	2.13	2.30	3.879789	3.817035	<b>7.696824</b>
2.5	-2.5	12.88211521	24.91569645	37.79781166	1.955	2.13	2.30	6.062172	4.771294	<b>10.83347</b>
3	-3	18.55023787	29.89883574	48.4490736	1.955	2.13	2.30	8.729524	5.725553	<b>14.45508</b>
3.5	-3.5	25.24893442	34.88197502	60.13090944	1.955	2.13	2.30	11.88185	6.679811	<b>18.56166</b>
4	-4	32.97821529	39.86511431	72.8433296	1.955	2.13	2.30	15.51916	7.63407	<b>23.15323</b>
4.5	-4.5	41.7380339	44.8482536	86.5862875	1.955	2.13	2.30	19.64143	8.588329	<b>28.22976</b>
5	-5	51.52842906	49.83139289	101.359822	1.955	2.13	2.30	24.24867	9.542588	<b>33.79126</b>
5.5	-5.5	62.34941647	54.81453218	117.1639486	1.955	2.13	2.30	29.3409	10.49685	<b>39.83775</b>
6	-6	74.20095224	59.79767147	133.9986237	1.955	2.13	2.30	34.9181	11.45111	<b>46.3692</b>
6.5	-6.5	87.08305742	64.78081076	151.8638682	1.955	2.13	2.30	40.98026	12.40536	<b>53.38563</b>
7	-7	100.9957503	69.76395005	170.7597003	1.955	2.13	2.30	47.52741	13.35962	<b>60.88703</b>
7.5	-7.5	115.9390023	74.74708934	190.6860917	1.955	2.13	2.30	54.55953	14.31388	<b>68.87341</b>
8	-8	131.9128264	79.73022863	211.6430551	1.955	2.13	2.30	62.07662	15.26814	<b>77.34476</b>
8.5	-8.5	148.9172105	84.71336792	233.6305785	1.955	2.13	2.30	70.07869	16.2224	<b>86.30109</b>
9	-9	166.9521848	89.69650721	256.648692	1.955	2.13	2.30	78.56573	17.17666	<b>95.74239</b>
9.5	-9.5	210.3961751	477.1293843	687.5255593	1.955	2.13	2.30	99.00996	18.13092	<b>117.1409</b>
10	-10	351.7677879	477.1293843	828.8971722	1.955	2.13	2.30	165.5378	19.08518	<b>184.623</b>
10.5	-10.5	493.138807	477.1293843	970.2681913	1.955	2.13	2.30	232.0653	20.03943	<b>252.1048</b>
11	-11	634.5101937	477.1293843	1111.639578	1.955	2.13	2.30	298.593	20.99369	<b>319.5867</b>
11.5	-11.5	775.8816652	477.1293843	1253.011049	1.955	2.13	2.30	365.1208	21.94795	<b>387.0687</b>
12	-12	917.2526843	477.1293843	1394.382069	1.955	2.13	2.30	431.6483	22.90221	<b>454.5505</b>
12.5	-12.5	1058.624071	477.1293843	1535.753455	1.955	2.13	2.30	498.176	23.85647	<b>522.0325</b>
13	-13	1199.995542	477.1293843	1677.124927	1.955	2.13	2.30	564.7038	24.81073	<b>589.5145</b>
13.5	-13.5	1341.366562	477.1293843	1818.495946	1.955	2.13	2.30	631.2313	25.76499	<b>656.9963</b>
14	-14	1482.737948	477.1293843	1959.867332	1.955	2.13	2.30	697.759	26.71925	<b>724.4783</b>
14.5	-14.5	1624.10942	477.1293843	2101.238804	1.955	2.13	2.30	764.2868	27.6735	<b>791.9603</b>
15	-15	1765.480439	477.1293843	2242.609823	1.955	2.13	2.30	830.8143	28.62776	<b>859.4421</b>
15.5	-15.5	1906.851825	477.1293843	2383.98121	1.955	2.13	2.30	897.342	29.58202	<b>926.9241</b>
16	-16	2048.223297	477.1293843	2525.352681	1.955	2.13	2.30	963.8698	30.53628	<b>994.4061</b>
16.5	-16.5	2189.594316	477.1293843	2666.7237	1.955	2.13	2.30	1030.397	31.49054	<b>1061.888</b>
17	-17	2330.965703	477.1293843	2808.095087	1.955	2.13	2.30	1096.925	32.4448	<b>1129.37</b>
17.5	-17.5	2472.337174	477.1293843	2949.466559	1.955	2.13	2.30	1163.453	33.39906	<b>1196.852</b>
18	-18	2613.708193	477.1293843	3090.837578	1.955	2.13	2.30	1229.98	34.35332	<b>1264.334</b>

PROGETTAZIONE ATI:

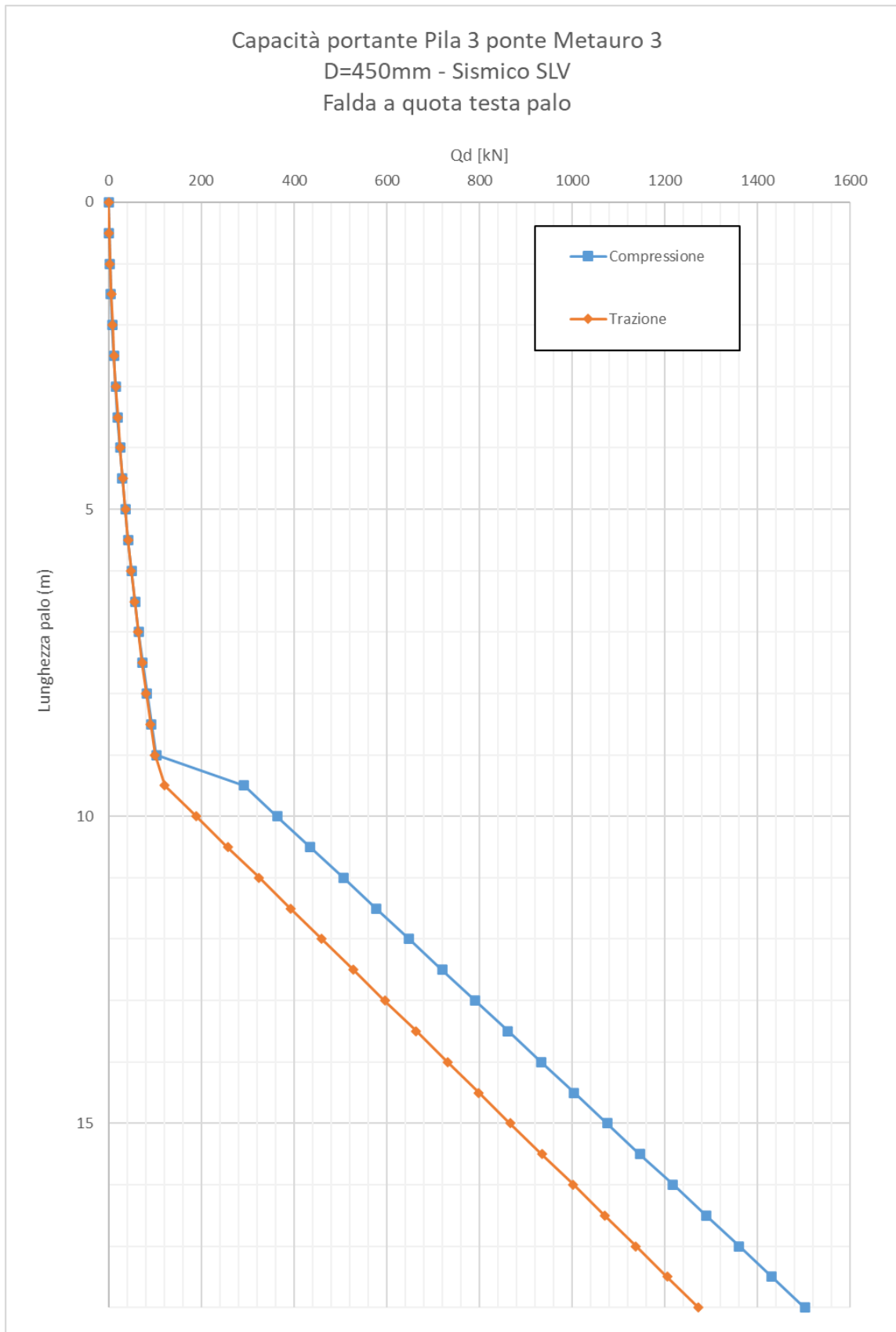


Si riporta il calcolo della capacità portante in funzione della lunghezza del palo (SLV):

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	COMPRESIONE			
								QI/FS (kN)	Qb/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,c (kN)
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0	0
0.5	-0.5	0.515284907	4.983139289	5.498424196	1.955	2.13	2.30	0.263573	2.1713025	1.19	1.24
1	-1	2.061139914	9.966278579	12.02741849	1.955	2.13	2.30	1.054292	4.342605	2.39	3.01125
1.5	-1.5	4.637558648	14.94941787	19.58697652	1.955	2.13	2.30	2.372153	6.5139076	3.58	5.30759
2	-2	8.244552284	19.93255716	28.17710944	1.955	2.13	2.30	4.217162	8.6852101	4.77	8.13
2.5	-2.5	12.88211521	24.91569645	37.79781166	1.955	2.13	2.30	6.589317	10.856513	5.96	11.48171
3	-3	18.55023787	29.89883574	48.4490736	1.955	2.13	2.30	9.488613	13.027815	7.16	15.35949
3.5	-3.5	25.24893442	34.88197502	60.13090944	1.955	2.13	2.30	12.91506	15.199118	8.35	19.76441
4	-4	32.97821529	39.86511431	72.8433296	1.955	2.13	2.30	16.86865	17.37042	9.54	24.69648
4.5	-4.5	41.7380339	44.8482536	86.5862875	1.955	2.13	2.30	21.34938	19.541723	10.74	30.15569
5	-5	51.52842906	49.83139289	101.359822	1.955	2.13	2.30	26.35725	21.713025	11.93	36.14204
5.5	-5.5	62.34941647	54.81453218	117.1639486	1.955	2.13	2.30	31.89228	23.884328	13.12	42.65555
6	-6	74.20095224	59.79767147	133.9986237	1.955	2.13	2.30	37.95445	26.05563	14.31	49.6962
6.5	-6.5	87.08305742	64.78081076	151.8638682	1.955	2.13	2.30	44.54376	28.226933	15.51	57.26399
7	-7	100.9957503	69.76395005	170.7597003	1.955	2.13	2.30	51.66023	30.398235	16.70	65.35894
7.5	-7.5	115.9390023	74.74708934	190.6860917	1.955	2.13	2.30	59.30384	32.569538	17.89	73.98102
8	-8	131.9128264	79.73022863	211.6430551	1.955	2.13	2.30	67.47459	34.74084	19.09	83.13026
8.5	-8.5	148.9172105	84.71336792	233.6305785	1.955	2.13	2.30	76.17249	36.912143	20.28	92.80663
9	-9	166.9521848	89.69650721	256.648692	1.955	2.13	2.30	85.39754	39.083445	21.47	103.0102
9.5	-9.5	210.3961751	477.1293843	687.5255593	1.955	2.13	2.30	107.6195	207.89951	22.66	292.8554
10	-10	351.7677879	477.1293843	828.8971722	1.955	2.13	2.30	179.9324	207.89951	23.86	363.9754
10.5	-10.5	493.138807	477.1293843	970.2681913	1.955	2.13	2.30	252.2449	207.89951	25.05	435.0951
11	-11	634.5101937	477.1293843	1111.639578	1.955	2.13	2.30	324.5576	207.89951	26.24	506.215
11.5	-11.5	775.8816652	477.1293843	1253.011049	1.955	2.13	2.30	396.8704	207.89951	27.43	577.335
12	-12	917.2526843	477.1293843	1394.382069	1.955	2.13	2.30	469.183	207.89951	28.63	648.4547
12.5	-12.5	1058.624071	477.1293843	1535.753455	1.955	2.13	2.30	541.4957	207.89951	29.82	719.5746
13	-13	1199.995542	477.1293843	1677.124927	1.955	2.13	2.30	613.8085	207.89951	31.01	790.6946
13.5	-13.5	1341.366652	477.1293843	1818.495946	1.955	2.13	2.30	686.121	207.89951	32.21	861.8143
14	-14	1482.737948	477.1293843	1959.867332	1.955	2.13	2.30	758.4337	207.89951	33.40	932.9342
14.5	-14.5	1624.10942	477.1293843	2101.238804	1.955	2.13	2.30	830.7465	207.89951	34.59	1004.054
15	-15	1765.480439	477.1293843	2242.609823	1.955	2.13	2.30	903.059	207.89951	35.78	1075.174
15.5	-15.5	1906.851825	477.1293843	2383.98121	1.955	2.13	2.30	975.3718	207.89951	36.98	1146.294
16	-16	2048.223297	477.1293843	2525.352681	1.955	2.13	2.30	1047.685	207.89951	38.17	1217.414
16.5	-16.5	2189.594316	477.1293843	2666.7237	1.955	2.13	2.30	1119.997	207.89951	39.36	1288.533
17	-17	2330.965703	477.1293843	2808.095087	1.955	2.13	2.30	1192.31	207.89951	40.56	1359.653
17.5	-17.5	2472.337174	477.1293843	2949.466559	1.955	2.13	2.30	1264.623	207.89951	41.75	1430.773
18	-18	2613.708193	477.1293843	3090.837578	1.955	2.13	2.30	1336.935	207.89951	42.94	1501.893

Depth From Pile Head (m)	Elevation (m)	Skin Friction Capacity (kN)	End Bearing Capacity (kN)	Ultimate Capacity (kN)	FSL,c	FSL,t	FSB	TRAZIONE		
								QI/FS (kN)	Wp (kN)	Qd,t (kN)
0	0	0	0	0	1.955	2.13	2.30	0	0	0
0.5	-0.5	0.515284907	4.983139289	5.498424196	1.955	2.13	2.30	0.242487	1.192823	1.43531
1	-1	2.061139914	9.966278579	12.02741849	1.955	2.13	2.30	0.969948	2.385647	3.355595
1.5	-1.5	4.637558648	14.94941787	19.58697652	1.955	2.13	2.30	2.182381	3.57847	5.760851
2	-2	8.244552284	19.93255716	28.17710944	1.955	2.13	2.30	3.879789	4.771294	8.651083
2.5	-2.5	12.88211521	24.91569645	37.79781166	1.955	2.13	2.30	6.062172	5.964117	12.02629
3	-3	18.55023787	29.89883574	48.4490736	1.955	2.13	2.30	8.729524	7.156941	15.88646
3.5	-3.5	25.24893442	34.88197502	60.13090944	1.955	2.13	2.30	11.88185	8.349764	20.23162
4	-4	32.97821529	39.86511431	72.8433296	1.955	2.13	2.30	15.51916	9.542588	25.06175
4.5	-4.5	41.7380339	44.8482536	86.5862875	1.955	2.13	2.30	19.64143	10.73541	30.37684
5	-5	51.52842906	49.83139289	101.359822	1.955	2.13	2.30	24.24867	11.92823	36.17691
5.5	-5.5	62.34941647	54.81453218	117.1639486	1.955	2.13	2.30	29.3409	13.12106	42.46196
6	-6	74.20095224	59.79767147	133.9986237	1.955	2.13	2.30	34.9181	14.31388	49.23198
6.5	-6.5	87.08305742	64.78081076	151.8638682	1.955	2.13	2.30	40.98026	15.5067	56.48697
7	-7	100.9957503	69.76395005	170.7597003	1.955	2.13	2.30	47.52741	16.69953	64.22694
7.5	-7.5	115.9390023	74.74708934	190.6860917	1.955	2.13	2.30	54.55953	17.89235	72.45188
8	-8	131.9128264	79.73022863	211.6430551	1.955	2.13	2.30	62.07662	19.08518	81.1618
8.5	-8.5	148.9172105	84.71336792	233.6305785	1.955	2.13	2.30	70.07869	20.278	90.35669
9	-9	166.9521848	89.69650721	256.648692	1.955	2.13	2.30	78.56573	21.47082	100.0366
9.5	-9.5	210.3961751	477.1293843	687.5255593	1.955	2.13	2.30	99.00996	22.66365	121.6736
10	-10	351.7677879	477.1293843	828.8971722	1.955	2.13	2.30	165.5378	23.85647	189.3943
10.5	-10.5	493.138807	477.1293843	970.2681913	1.955	2.13	2.30	232.0653	25.04929	257.1146
11	-11	634.5101937	477.1293843	1111.639578	1.955	2.13	2.30	298.593	26.24212	324.8351
11.5	-11.5	775.8816652	477.1293843	1253.011049	1.955	2.13	2.30	365.1208	27.43494	392.5557
12	-12	917.2526843	477.1293843	1394.382069	1.955	2.13	2.30	431.6483	28.62776	460.2761
12.5	-12.5	1058.624071	477.1293843	1535.753455	1.955	2.13	2.30	498.176	29.82059	527.9966
13	-13	1199.995542	477.1293843	1677.124927	1.955	2.13	2.30	564.7038	31.01341	595.7172
13.5	-13.5	1341.366652	477.1293843	1818.495946	1.955	2.13	2.30	631.2313	32.20623	663.4376
14	-14	1482.737948	477.1293843	1959.867332	1.955	2.13	2.30	697.759	33.39906	731.1581
14.5	-14.5	1624.10942	477.1293843	2101.238804	1.955	2.13	2.30	764.2868	34.59188	798.8787
15	-15	1765.480439	477.1293843	2242.609823	1.955	2.13	2.30	830.8143	35.7847	866.599
15.5	-15.5	1906.851825	477.1293843	2383.98121	1.955	2.13	2.30	897.34	36.97753	934.3196
16	-16	2048.223297	477.1293843	2525.352681	1.955	2.13	2.30	963.8698	38.17035	1002.04
16.5	-16.5	2189.594316	477.1293843	2666.7237	1.955	2.13	2.30	1030.397	39.36317	1069.76
17	-17	2330.965703	477.1293843	2808.095087	1.955	2.13	2.30	1096.925	40.556	1137.481
17.5	-17.5	2472.337174	477.1293843	2949.466559	1.955	2.13	2.30	1163.453	41.74882	1205.202
18	-18	2613.708193	477.1293843	3090.837578	1.955	2.13	2.30	1229.98	42.94164	1272.922

PROGETTAZIONE ATI:



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 20 mm.

$M_{plas} = 518$  kNm

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

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

**Input:**

coefficienti parziali		A		M		R	
Metodo di calcolo		permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_{\psi'}$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_T$	
SLU	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	sub-alt	100.00	21	27.5	15	27.5	15
<input checked="" type="checkbox"/>	strato 2	SUB	90.60	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)
$M_u$	513.3	[kNm]	Momento ultimo della sezione
D	0.45	[m]	Diametro del palo
L	18	[m]	Lunghezza del palo

**Risultati:**

	H medio		H minimo	
Palo lungo	576 (kN)		576 (kN)	
Palo intermedio	5788 (kN)		5788 (kN)	
Palo corto	18134 (kN)		18134 (kN)	
<b>H<sub>med</sub></b>	<b>576 (kN)</b>	<b>Palo lungo</b>	<b>H<sub>min</sub></b>	<b>575.7 (kN)</b>
<b>H<sub>k</sub> = Min(H<sub>med</sub>/ξ<sub>3</sub> ; R<sub>min</sub>/ξ<sub>4</sub>)</b>			338.65 (kN)	
<b>H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub></b>			<b>260.50 (kN)</b>	
Carico Assiale Permanente (G):	G =	1 (kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0 (kN)		
<b>F<sub>d</sub> = G · γ<sub>G</sub> + Q · γ<sub>Q</sub> =</b>			<b>1.00 (kN)</b>	
<b>FS = H<sub>d</sub> / F<sub>d</sub> =</b>			<b>260.50</b>	

Sollecitazioni lungo il fusto del palo

Si riportano le sollecitazioni sul palo per carico unitario:

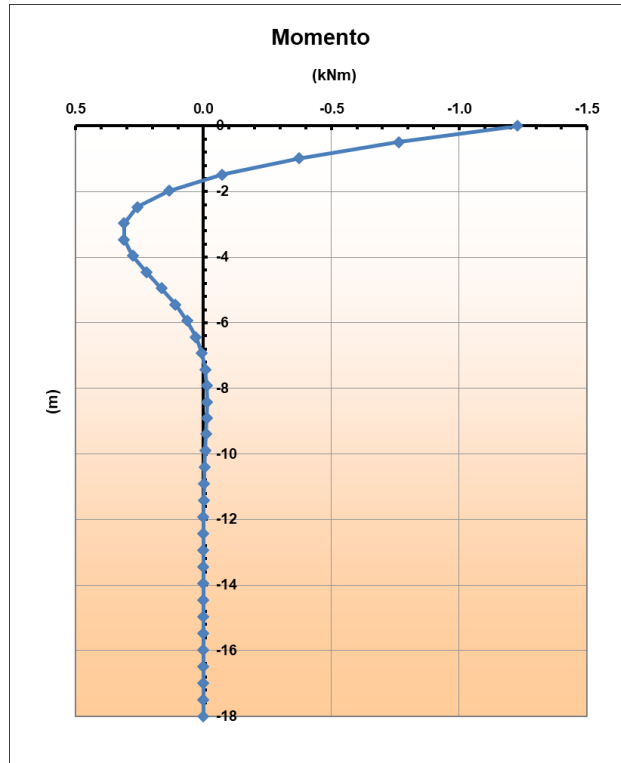


Figura 11-3 – Momento flettente agente per carico unitario

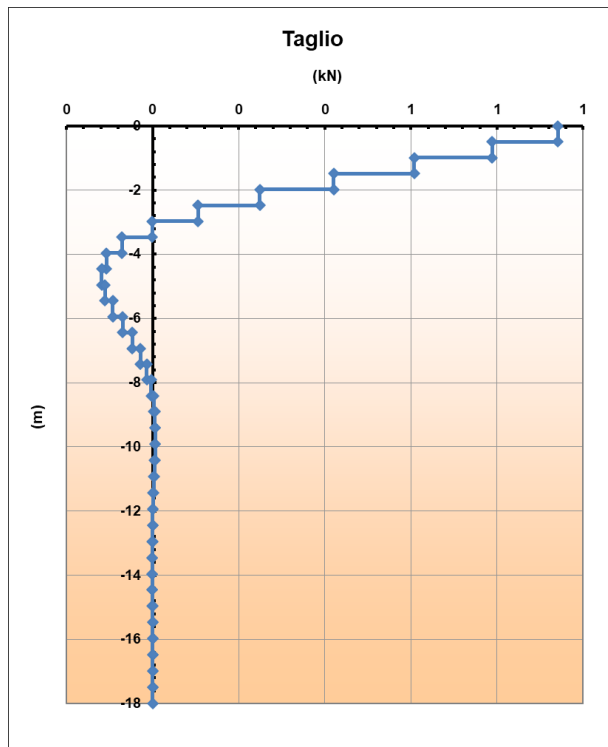


Figura 11-4 – Taglio agente per carico unitario

PROGETTAZIONE ATI:

Curva carico-cedimenti

Si riporta la curva carico-cedimenti.

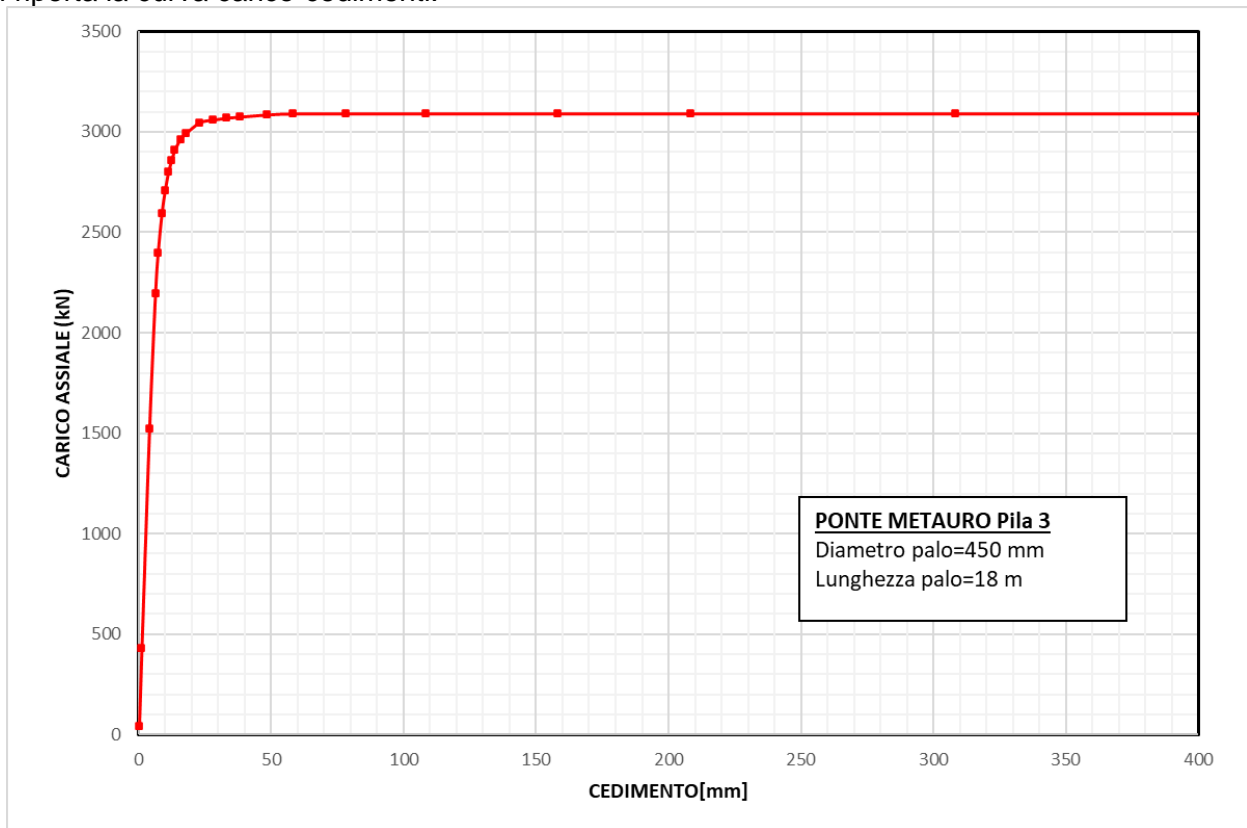


Figura 11-5 – Curva carico-cedimento

PROGETTAZIONE ATI:

## 12. RILEVATO TEMPORANEO

Le scarpate del rilevato sono sagomate con pendenza 3 (H) / 2 (V). L'altezza di 7 metri della sommità viene raggiunta con una berma di larghezza 2 m a una quota di 2 metri dal p.c..

### Descrizione terreno

#### Simbologia adottata

*Nr.* Indice del terreno

*Descrizione* Descrizione terreno

$\gamma$  Peso di volume del terreno espresso in kN/mc

$\gamma_w$  Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/mc

$\phi$  Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi

$c$  Coesione 'efficace' del terreno espressa in kPa

$\phi_u$  Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi

$c_u$  Coesione 'totale' del terreno espressa in kPa

n°	Descrizione	$\gamma$ [kN/mc ]	$\gamma_{sat}$ [kN/mc ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]
1	Sub-alt	21.00	21.00	28.00	10.0
2	rilevato temp.	19.00	19.00	35.00	0.0

### Carichi sul profilo

Sul rilevato temporaneo, necessario alle operazioni di installazione dei conci costituenti l'impalcato, si applica un carico distribuito che tiene conto del peso dei mezzi di movimentazione dei conci e il peso dei conci stessi pari a 40 kN/m. Trattandosi poi di un'opera temporanea la verifica di stabilità è stata condotta in condizioni unicamente statiche.

#### Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

*N°* Identificativo del sovraccarico agente

*Descrizione* Descrizione carico

*Tipo* Tipo carico

$\Psi_2$  Coefficiente sismico carico variabile

Carichi distribuiti

$P_i, P_f$  Posizione iniziale e finale del carico espressa in [m]

$V_{x_i}, V_{x_f}, V_{y_i}, V_{y_f}$  Intensità del carico in direzione X e Y nei punti iniziale e finale, espresse in [kN/m]

### Carichi distribuiti

PROGETTAZIONE ATI:



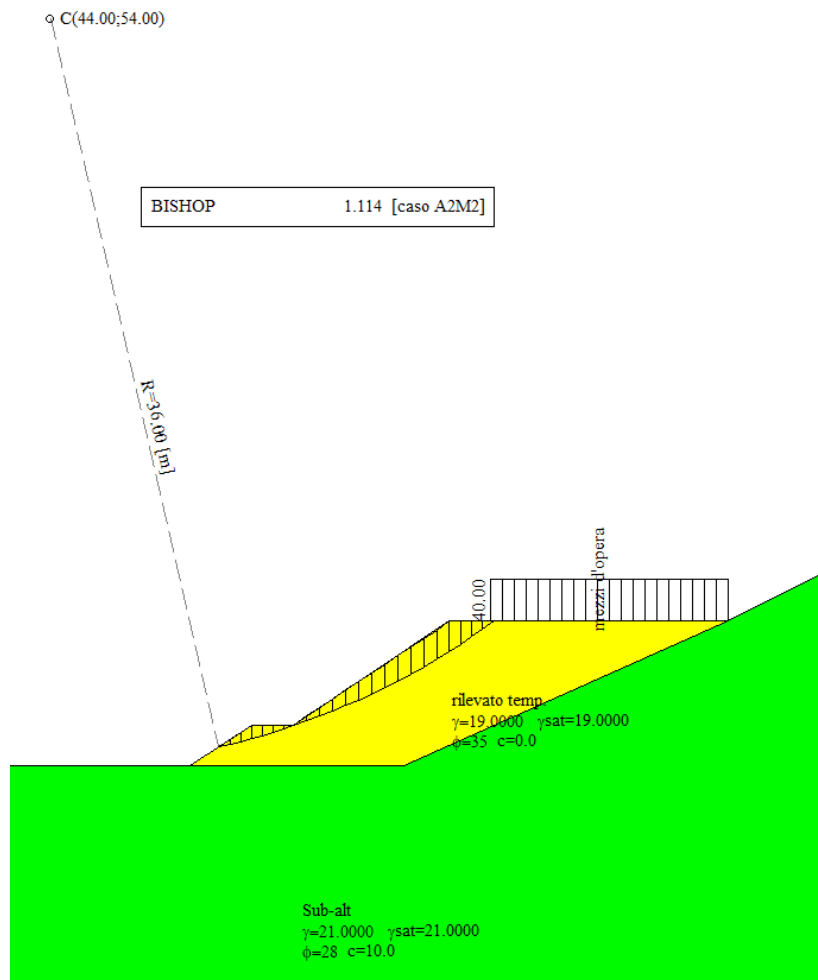
n°	Descrizione	Tipo	$\Psi_2$	$P_i$	$P_f$	$V_y$	$V_x$
				[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
1	mezzi d'opera	Permanente	--	65.20 25.00	76.60 25.00	40.00 40.00	0.00 0.00

### Risultati analisi

Numero di superfici analizzate	3467
Coefficiente di sicurezza minimo	1.114
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	3467	1.114	1	5471.595	3467



PROGETTAZIONE ATI: