



REGIONE PUGLIA



COMUNE DI POGGIO
IMPERIALE



COMUNE DI LESINA



COMUNE DI SAN PAOLO
CIVITATE



COMUNE DI APRICENA

Nome Progetto / Projet Name

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO,
DENOMINATO POGGIO 2
POTENZA INSTALLATA 20,35 MW
CON PANNELLI SU SUPPORTO TRACKER
AD ASSE ORIZZONTALE IN AGRO DI
POGGIO IMPERIALE, LESINA, SAN PAOLO CIVITATE
E OPERE DI CONNESSIONE**

committente GC POGGIO IMP II	Titolo documento /Document title Relazione geotecnica	
	Tavola /Pannel	Codice elaborato /Code processed PG2_REL_GTC_003

00	30/06/2022	PROGETTO DEFINITIVO			
N.	Data Revisione	Descrizione revisione	Preparato	Vagliato	Approvato

Specialista / Specialist Dr. geol. Baldassarre Franco LA TESSA	 Sviluppatore / Developer RENEWABLE CONSULTING
--	--

Progettisti / Planner RENEWABLE CONSULTING SRL			
	Nome file	Dimensione cartiglio	Scala
	Relazione geotecnica	A4	

CARICO LIMITE E CEDIMENTI

Sviluppatore: Renewable Consulting srl
Comune: Poggio Imperiale, Lesina e San Paolo di Civitate
Impianto Agrivoltaico Poggio2

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- Circolare 7 del 21/01/2019
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Richiami teorici capacità portante palo supporto pannelli

Determinazione della capacità portante

Il carico verticale che grava sul palo va confrontato con il valore di calcolo della resistenza verticale del palo stesso. Il problema che si pone, quindi, è quello di determinare la capacità portante del palo. Determinata la capacità portante, la resistenza di calcolo verticale del palo si ottiene applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portanza di base (o di punta) e portanza per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

Q_T Portanza totale del palo;

Q_P Portanza di base del palo;

Q_L Portanza per attrito laterale del palo;

W_P Peso proprio del palo.

Le due componenti Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro. Risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico viene assorbita per attrito laterale e quanta per resistenza alla base.

Nel caso di pali soggetti a trazione la resistenza allo sfilamento vale:

$$Q_T = Q_L + W_P$$

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando degli opportuni coefficienti di sicurezza rispettivamente γ_b e γ_s .

I coefficienti γ_b e γ_s rappresentano rispettivamente i valori del coefficiente di sicurezza per la portanza di punta e quello per la portanza laterale.

Quindi nel caso di pali compressi abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_P/\gamma_b + Q_L/\gamma_s - W_P$$

Nel caso invece di pali soggetti a sforzi di trazione abbiamo la seguente relazione:

$$Q_A = Q_L/\gamma_s + W_P$$

Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P (c N_c + q_b N_q)$$

dove A_P è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, q_b è la pressione del terreno alla quota della punta del palo ed i coefficienti N_c e N_q sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di profondità.

N_c ed N_q dipendono sia dalla geometria del palo che dalle caratteristiche del terreno angolo di attrito e coesione (ϕ e c).

In letteratura è possibile trovare diverse formule per il calcolo dei valori di N_c ed N_q .

Per pali in argilla in condizioni non drenate ($\phi=0$, $c=c_u$) si assume in genere per N_c il valore proposto da Skempton pari a 9 (valore in corrispondenza della punta del palo) mentre $N_q=1$. Diversi autori hanno proposto altri valori per il fattore N_c ma in generale le variazioni sono abbastanza contenute.

Diverso è il caso del fattore N_q per il quale diversi autori propongono dei valori spesso molto discordanti fra di loro.

In particolare da prove effettuati su pali realizzati in terreni non coesivi, si vede che la variazione della resistenza alla punta non cresce in modo lineare con la profondità, ma raggiunto un certo valore essa si

mantiene pressochè costante. Questo fenomeno è stato spiegato da Vesic mettendo in conto un <<effetto arco>> che si manifesta nei dintorni del palo.

Un modo semplice per tener conto del fatto che la resistenza alla punta non può crescere indefinitamente è quello di considerare il diagramma delle pressioni verticali in corrispondenza del palo opportunamente modificato.

In particolare si assume che la pressione verticale σ_v cresca linearmente (pressione geostatica) fino ad una certa profondità z_c ($\sigma_v = \sigma_c$); superata tale profondità il valore della pressione verticale si mantiene costante e pari a σ_c : in pratica si assume un diagramma bilatero per l'andamento della pressione verticale in corrispondenza del palo.

Il valore di z_c (detta anche profondità critica) dipende dal diametro del palo, D , dalla tecnologia di realizzazione (palo infisso o trivellato) dall'angolo di attrito del terreno ϕ .

Nella determinazione di z_c il valore di ϕ da considerare è funzione del valore dell'angolo di attrito prima dell'installazione del palo, ϕ' , secondo le seguenti relazioni:

Per pali infissi $\phi = 3/4 \phi' + 10$

Per pali trivellati $\phi = \phi' - 3$

A parità di diametro influisce il grado di addensamento del terreno (densità relativa D_r) e la resistenza alla punta cresce con il crescere della densità.

Nella sezione successiva descriveremo le relazioni per la determinazione di N_c ed N_q .

Capacità portante per attrito laterale

La portanza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limiti:

$$Q_L = \text{Int}(\tau_a) dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb:

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \text{tg } \delta$$

dove c_a è l'adesione palo-terreno, δ è l'angolo di attrito palo-terreno, e σ_h è la tensione orizzontale alla generica profondità z . La tensione orizzontale σ_h è legata alla pressione verticale σ_v tramite il coefficiente di spinta K_s

$$\sigma_h = K_s \sigma_v$$

Indicando con C il perimetro e con L la lunghezza del palo abbiamo:

$$\text{Int}^L(C(c_a + K_s \sigma_v \text{tg } \delta) dz)$$

Analisi del palo soggetto a forze orizzontali (Portanza trasversale)

La resistenza limite laterale di un palo è determinata dal minimo valore fra il carico orizzontale necessario per produrre il collasso del terreno lungo il fusto del palo ed il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo. Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto) mentre il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidità non eccessive rispetto al terreno di infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio). Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante di rigidità elastica, K_h , espressa in $\text{Kg/cm}^2/\text{cm}$ che rappresenta la pressione (in Kg/cm^2) che bisogna applicare per ottenere lo spostamento di 1 cm. La determinazione di questa costante può essere fatta o tramite prove di carico su piastra o mediante metodi analitici (convenzionali). La variazione della costante di Winkler con la profondità dipende dal tipo di terreno in cui il palo è immerso. Ad esempio nel caso di terreni coesivi in condizioni non drenate K_h assume un valore costante con la profondità mentre nel caso di terreni incoerenti la variazione di K_h è di tipo lineare (crescente con la profondità). In generale l'espressione di K_h assume una forma binomia del tipo:

$$K_h(z) = A + B z^n$$

Per l'analisi di pali caricati trasversalmente si utilizza il modello di Winkler. Il palo viene suddiviso in un determinato numero (100) di elementi tipo trave aventi area ed inerzia pari a quella della sezione trasversale del palo. In corrispondenza di ogni nodo di separazione fra i vari elementi viene inserita una molla orizzontale di opportuna rigidezza che schematizza il terreno. Il comportamento delle molle che schematizzano il terreno non è infinitamente elastico ma è di tipo elastoplastico. La singola molla reagisce fino ad un valore limite di spostamento o di reazione; una volta che è stato superato tale limite la molle non offre ulteriori incrementi di resistenza (diagramma tipo elastoplastico perfetto). Indicando con d_{ye} la lunghezza del tratto di influenza della molla, con D il diametro del palo la molla avrà una rigidezza pari a:

$$K_m = d_{ye} D K_k$$

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che il terreno può esplicitare quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale. La resistenza limite $p_u = p_u(z)$ dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo. In terreni puramente coesivi ($c=c_u$, $\phi=0$) la resistenza cresce dal valore 0 in sommità fino ad un valore limite in corrispondenza di una profondità pari a circa 3 diametri. Il valore limite in tal caso è variabile fra 8 e 12 c_u . Nel caso di terreni dotati di attrito e coesione la resistenza limite ad una generica profondità z è rappresentata dalla relazione (Brinch Hansen):

$$P_u = q K_{pq} + c K_{pc}$$

dove:

D diametro del palo

q pressione geostatica alla profondità z

c coesione alla profondità z

K_{pq} , K_{pc} coefficienti funzione dell'angolo di attrito del terreno ϕ e del rapporto z/D .

Broms ha eseguito l'analisi considerando il caso sia di palo vincolato in testa che di palo libero immerso in un mezzo omogeneo. Nel caso di terreni coesivi Broms assume in questo caso un diagramma di resistenza nullo fino ad una profondità pari a $1,5D$ e poi valore costante pari a $9c_u D$.

Nel caso di terreni incoerenti Broms assume che la resistenza laterale sia variabile con la profondità dal valore 0 (in testa) fino al valore $3\sigma_v K_p D$ (alla base) essendo K_p il coefficiente di resistenza passiva espresso da $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$.

Dati

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione del palo
<i>Frm</i>	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
<i>D</i>	Diametro del palo espresso in [cm]
<i>L</i>	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	[m]	[cm]	[m]
PALO A SEZIONE IPE	(C)	0,00	0,00	20,00	3,00

Materiali palo

Acciaio

Tipo	B450A		
Tensione caratteristica di snervamento	4588,65	[kg/cmq]	
Modulo elastico	2100000,00	[kg/cmq]	

Coefficienti di sicurezza sui materiali

Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza sezione	1.00

Caratteristiche pali

Pali in acciaio

Armatura con ferri longitudinali e staffe

Vincolo in testa di tipo CERNIERA

Tipo di palo INFISSO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

Descrizione terreni e falda

Simbologia adottata

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
c	Coesione del terreno espressa in [kg/cmq]
$c\bar{a}$	Adesione del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{min}, ϕ_{med}	Angolo di attrito interno del terreno minimo e medio espresso in gradi
$\delta_{min}, \delta_{med}$	Angolo di attrito palo-terreno minimo e medio espresso in gradi
c_{min}, c_{med}	Coesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq]
$c\bar{a}_{min}, c\bar{a}_{med}$	Adesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq]

Parametri caratteristici

Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ^q]	ca [kg/cm ^q]
Sabbia lim arg ghia	1850,0	1950,0	21,50	20,00	0,160	0,020
argilla	1900,0	2000,0	24,00	20,00	0,200	0,004
Terreno vegetale	1400,0	1500,0	11,00	6,00	0,005	0,000

Parametri minimi

Descrizione	ϕ_{min} [°]	δ_{min} [°]	C _{min} [kg/cm ^q]	Ca _{min} [kg/cm ^q]
Sabbia lim arg ghia	20,00	18,00	0,008	0,000
argilla	30,00	20,00	0,100	0,005
Terreno vegetale	0,00	0,00	0,000	0,000

Parametri medi

Descrizione	ϕ_{med} [°]	δ_{med} [°]	C _{med} [kg/cm ^q]	Ca _{med} [kg/cm ^q]
Sabbia lim arg ghia	26,00	20,00	0,200	0,020
argilla	30,00	20,00	0,200	0,040
Terreno vegetale	11,00	6,00	0,005	0,000

Falda

Profondità dal piano di posa 4,00 [m]

Descrizione stratigrafia*Simbologia adottata*

- N Identificativo strato
 Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
 Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
 Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
 Terreno Terreno dello strato
 Kw Costante di Winkler espressa in Kg/cm²/cm
 Ks Coefficiente di spinta
 α Coefficiente di espansione laterale

n°	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	Kw [kg/cm ^q /cm]	Ks	α
1	-1,5	-1,5	-1,5	Terreno vegetale	2.20	0.50	1.00
2	-10,0	-10,0	-10,0	Sabbia lim arg ghia	0.00	0.00	1.00

Normativa**N.T.C. 2018***Simbologia adottata*

- γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
 γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
 γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
 γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
 $\gamma_{tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
 $\gamma_{c'}$ Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
 γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
 γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
 γ_{γ} Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00	1.00	1.00

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei pali

Pali infissi

		R1	R2	R3
Punta	γ_b	1.00	1.45	1.15
Laterale compressione	γ_s	1.00	1.45	1.15
Totale compressione	γ_t	1.00	1.45	1.15
Laterale trazione	γ_{st}	1.00	1.60	1.25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali γ_T per le verifiche dei pali.

		R1	R2	R3
	γ_T	1.00	1.60	1.30

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1 $\xi_3=1.70$ $\xi_4=1.70$

Condizioni di carico**Le condizioni di carico definite rappresentano le combinazioni di calcolo***Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

fnd Indice della fondazione

N_{TOT} Sforzo normale totale espressa in [kg]

$M_{Y_{TOT}}$ Momento in direzione Y espresso in [kgm]

T_{TOT} Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - A1-M1-R3 - Sismica

Fondazione	N_{TOT}	$M_{Y_{TOT}}$	$T_{X_{TOT}}$
	[kg]	[kgm]	[kg]
PALO A SEZIONE IPE	1375,0	150,0	180,0

Descrizione combinazioni di carico*Simbologia adottata*

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - A1-M1-R3

Cond	γ	Ψ
Condizione n° 1	1.00	1.00

Opzioni di calcolo

Analisi in condizioni drenate

Verifica della portanza assiale

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Berezantzev.
E' stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).
L'andamento della pressione verticale σ_v con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

Verifica della portanza trasversale

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO
Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Pressione passiva con moltiplicatore = 3.00)

Cedimento verticale in testa ai pali

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo degli Elementi Finiti.
Spostamento limite attrito laterale: 0,50 [cm]
Spostamento limite punta: 1,00 [cm]

Risultati

Verifica della portanza assiale

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione
 Nc, Nq Fattori di capacità portante
 Pl_{min}, Pl_{med} Portanza laterale minima e media espressa in [kg]
 Pp_{min}, Pp_{med} Portanza di punta minima e media espressa in [kg]
 Pd Portanza di progetto espressa in [kg]
 N Scarico verticale in testa al palo espresso in [kg]
 η Coeff. di sicurezza per carichi verticali

cmb	Nc	Nq
1	79.01	52.31

cmb	Pl _{med} [kg]	Pp _{med} [kg]	Pl _{min} [kg]	Pp _{min} [kg]	Wp [kg]	Pd [kg]	N [kg]	η
1	316	12975	0	5036	18	2558	1375	1.860

Verifica della portanza trasversale

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione
 Td Taglio resistente di progetto in testa al palo, espresso in [kg]
 T Taglio agente in testa al palo, espresso in [kg]
 η=Td/T Coeff. di sicurezza per carichi orizzontali

cmb	Td [kg]	T [kg]	η
1	186	180	1,035

Spostamenti e pressioni in esercizio

Simbologia adottata

Nr. Identificativo sezione palo
 Y ordinata palo espressa in [cm]
 Ue spostamento in esercizio espresso in [cm]
 Pe pressione in esercizio espressa in [kg/cmq]

Combinazione n° 1

n°	Y [m]	Ue [cm]	Pe [kg/cm ²]	n°	Y [m]	Ue [cm]	Pe [kg/cm ²]	n°	Y [m]	Ue [cm]	Pe [kg/cm ²]
1	0,00	1,1361	0,036	2	0,03	1,0861	0,055	3	0,06	1,0368	0,073
4	0,09	0,9885	0,092	5	0,12	0,9410	0,111	6	0,15	0,8944	0,129
7	0,18	0,8488	0,148	8	0,21	0,8041	0,166	9	0,24	0,7605	0,185
10	0,27	0,7178	0,203	11	0,30	0,6762	0,222	12	0,33	0,6356	0,240
13	0,36	0,5961	0,259	14	0,39	0,5577	0,277	15	0,42	0,5203	0,296
16	0,45	0,4841	0,315	17	0,48	0,4490	0,333	18	0,51	0,4149	0,352
19	0,54	0,3820	0,370	20	0,57	0,3502	0,389	21	0,60	0,3195	0,407
22	0,63	0,2898	0,426	23	0,66	0,2612	0,444	24	0,69	0,2337	0,463
25	0,72	0,2072	0,456	26	0,75	0,1817	0,400	27	0,78	0,1571	0,346
28	0,81	0,1335	0,294	29	0,84	0,1108	0,244	30	0,87	0,0889	0,195
31	0,90	0,0677	0,149	32	0,93	0,0474	0,104	33	0,96	0,0277	0,061
34	0,99	0,0086	0,019	35	1,02	-0,0098	-0,022	36	1,05	-0,0277	-0,061
37	1,08	-0,0452	-0,099	38	1,11	-0,0621	-0,137	39	1,14	-0,0787	-0,173
40	1,17	-0,0950	-0,209	41	1,20	-0,1110	-0,244	42	1,23	-0,1267	-0,279
43	1,26	-0,1422	-0,313	44	1,29	-0,1576	-0,347	45	1,32	-0,1728	-0,380
46	1,35	-0,1879	-0,413	47	1,38	-0,2030	-0,447	48	1,41	-0,2180	-0,480

n°	Y	Ue	Pe	n°	Y	Ue	Pe	n°	Y	Ue	Pe
	[m]	[cm]	[kg/cmq]		[m]	[cm]	[kg/cmq]		[m]	[cm]	[kg/cmq]
49	1,44	-0,2330	-0,513	50	1,47	-0,2480	-0,546	51	1,50	-0,2630	-0,579
52	1,53	-0,2780	0,000	53	1,56	-0,2931	0,000	54	1,59	-0,3081	0,000
55	1,62	-0,3231	0,000	56	1,65	-0,3381	0,000	57	1,68	-0,3531	0,000
58	1,71	-0,3681	0,000	59	1,74	-0,3832	0,000	60	1,77	-0,3982	0,000
61	1,80	-0,4132	0,000	62	1,83	-0,4282	0,000	63	1,86	-0,4432	0,000
64	1,89	-0,4583	0,000	65	1,92	-0,4733	0,000	66	1,95	-0,4883	0,000
67	1,98	-0,5033	0,000	68	2,01	-0,5183	0,000	69	2,04	-0,5334	0,000
70	2,07	-0,5484	0,000	71	2,10	-0,5634	0,000	72	2,13	-0,5784	0,000
73	2,16	-0,5934	0,000	74	2,19	-0,6085	0,000	75	2,22	-0,6235	0,000
76	2,25	-0,6385	0,000	77	2,28	-0,6535	0,000	78	2,31	-0,6685	0,000
79	2,34	-0,6835	0,000	80	2,37	-0,6986	0,000	81	2,40	-0,7136	0,000
82	2,43	-0,7286	0,000	83	2,46	-0,7436	0,000	84	2,49	-0,7586	0,000
85	2,52	-0,7737	0,000	86	2,55	-0,7887	0,000	87	2,58	-0,8037	0,000
88	2,61	-0,8187	0,000	89	2,64	-0,8337	0,000	90	2,67	-0,8488	0,000
91	2,70	-0,8638	0,000	92	2,73	-0,8788	0,000	93	2,76	-0,8938	0,000
94	2,79	-0,9088	0,000	95	2,82	-0,9239	0,000	96	2,85	-0,9389	0,000
97	2,88	-0,9539	0,000	98	2,91	-0,9689	0,000	99	2,94	-0,9839	0,000
100	2,97	-0,9989	0,000	101	3,00	-1,0140	0,000	102			

Spostamenti e pressioni limiti

Simbologia adottata

Nr. Identificativo sezione palo
 Y ordinata palo espressa in [cm]
 Ur spostamento limite espresso in [cm]
 Pr pressione limite espressa in [kg/cmq]

n°	Y	Ur	Pr	n°	Y	Ur	Pr	n°	Y	Ur	Pr
	[m]	[cm]	[kg/cmq]		[m]	[cm]	[kg/cmq]		[m]	[cm]	[kg/cmq]
1	0,00	13,2029	0,036	2	0,03	12,8296	0,055	3	0,06	12,4575	0,073
4	0,09	12,0865	0,092	5	0,12	11,7167	0,111	6	0,15	11,3482	0,129
7	0,18	10,9809	0,148	8	0,21	10,6150	0,166	9	0,24	10,2503	0,185
10	0,27	9,8871	0,203	11	0,30	9,5252	0,222	12	0,33	9,1648	0,240
13	0,36	8,8058	0,259	14	0,39	8,4483	0,277	15	0,42	8,0922	0,296
16	0,45	7,7377	0,315	17	0,48	7,3848	0,333	18	0,51	7,0333	0,352
19	0,54	6,6835	0,370	20	0,57	6,3352	0,389	21	0,60	5,9884	0,407
22	0,63	5,6432	0,426	23	0,66	5,2996	0,444	24	0,69	4,9575	0,463
25	0,72	4,6169	0,481	26	0,75	4,2779	0,500	27	0,78	3,9403	0,518
28	0,81	3,6042	0,537	29	0,84	3,2695	0,556	30	0,87	2,9362	0,574
31	0,90	2,6043	0,593	32	0,93	2,2737	0,611	33	0,96	1,9443	0,630
34	0,99	1,6161	0,648	35	1,02	1,2890	0,667	36	1,05	0,9630	0,685
37	1,08	0,6379	0,704	38	1,11	0,3138	0,690	39	1,14	-0,0096	-0,021
40	1,17	-0,3324	-0,731	41	1,20	-0,6545	-0,778	42	1,23	-0,9762	-0,797
43	1,26	-1,2976	-0,815	44	1,29	-1,6186	-0,834	45	1,32	-1,9394	-0,852
46	1,35	-2,2600	-0,871	47	1,38	-2,5806	-0,889	48	1,41	-2,9010	-0,908
49	1,44	-3,2214	-0,926	50	1,47	-3,5419	-0,945	51	1,50	-3,8623	-0,964
52	1,53	-4,1827	0,000	53	1,56	-4,5032	0,000	54	1,59	-4,8237	0,000
55	1,62	-5,1441	0,000	56	1,65	-5,4646	0,000	57	1,68	-5,7850	0,000
58	1,71	-6,1055	0,000	59	1,74	-6,4259	0,000	60	1,77	-6,7464	0,000
61	1,80	-7,0669	0,000	62	1,83	-7,3873	0,000	63	1,86	-7,7078	0,000
64	1,89	-8,0282	0,000	65	1,92	-8,3487	0,000	66	1,95	-8,6692	0,000
67	1,98	-8,9896	0,000	68	2,01	-9,3101	0,000	69	2,04	-9,6305	0,000
70	2,07	-9,9510	0,000	71	2,10	-10,2714	0,000	72	2,13	-10,5919	0,000
73	2,16	-10,9124	0,000	74	2,19	-11,2328	0,000	75	2,22	-11,5533	0,000
76	2,25	-11,8737	0,000	77	2,28	-12,1942	0,000	78	2,31	-12,5146	0,000
79	2,34	-12,8351	0,000	80	2,37	-13,1556	0,000	81	2,40	-13,4760	0,000
82	2,43	-13,7965	0,000	83	2,46	-14,1169	0,000	84	2,49	-14,4374	0,000
85	2,52	-14,7578	0,000	86	2,55	-15,0783	0,000	87	2,58	-15,3988	0,000
88	2,61	-15,7192	0,000	89	2,64	-16,0397	0,000	90	2,67	-16,3601	0,000
91	2,70	-16,6806	0,000	92	2,73	-17,0010	0,000	93	2,76	-17,3215	0,000
94	2,79	-17,6420	0,000	95	2,82	-17,9624	0,000	96	2,85	-18,2829	0,000
97	2,88	-18,6033	0,000	98	2,91	-18,9238	0,000	99	2,94	-19,2442	0,000
100	2,97	-19,5647	0,000	101	3,00	-19,8852	0,000	102			

Sollecitazioni in esercizio*Simbologia adottata*

Nr.	Identificativo sezione
Y	ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
N	sfuerzo normale espresso in [kg]
T	taglio espresso in [kg]
M	momento espresso in [kgm]

Combinazione n° 1

n°	Y	M	T	N	n°	Y	M	T	N
	[m]	[kgm]	[kg]	[kg]		[m]	[kgm]	[kg]	[kg]
1	0,00	-150,00	180,00	1375,00	2	0,00	-155,37	175,61	1375,17
3	0,06	-160,64	171,20	1375,33	4	0,06	-165,77	165,68	1375,47
5	0,12	-170,74	159,05	1375,59	6	0,12	-175,51	151,30	1375,70
7	0,18	-180,05	142,45	1375,79	8	0,18	-184,33	132,47	1375,87
9	0,24	-188,30	121,39	1375,93	10	0,24	-191,94	109,19	1375,97
11	0,30	-195,22	95,89	1376,00	12	0,30	-198,09	81,46	1376,01
13	0,36	-200,54	65,93	1376,01	14	0,36	-202,52	49,28	1375,99
15	0,42	-203,99	31,53	1375,95	16	0,42	-204,94	12,65	1375,90
17	0,48	-205,32	-7,33	1375,84	18	0,48	-205,10	-28,43	1375,75
19	0,54	-204,25	-50,64	1375,65	20	0,54	-202,73	-73,96	1375,54
21	0,60	-200,51	-98,39	1375,41	22	0,60	-197,56	-123,94	1375,26
23	0,66	-193,84	-150,60	1375,10	24	0,66	-189,32	-178,37	1374,92
25	0,72	-183,97	-205,72	1374,72	26	0,72	-177,80	-229,70	1374,51
27	0,78	-170,91	-250,45	1374,28	28	0,78	-163,39	-268,07	1374,04
29	0,84	-155,35	-282,69	1373,78	30	0,84	-146,87	-294,42	1373,51
31	0,90	-138,04	-303,36	1373,21	32	0,90	-128,94	-309,62	1372,91
33	0,96	-119,65	-313,27	1372,58	34	0,96	-110,25	-314,41	1372,25
35	1,02	-100,82	-313,11	1371,89	36	1,02	-91,43	-309,45	1371,52
37	1,08	-82,14	-303,49	1371,13	38	1,08	-73,04	-295,29	1370,73
39	1,14	-64,18	-284,90	1370,31	40	1,14	-55,63	-272,35	1369,88
41	1,20	-47,46	-257,70	1369,43	42	1,20	-39,73	-240,98	1368,96
43	1,26	-32,50	-222,20	1368,48	44	1,26	-25,83	-201,40	1367,98
45	1,32	-19,79	-178,59	1367,46	46	1,32	-14,43	-153,79	1366,93
47	1,38	-9,82	-126,99	1366,39	48	1,38	-6,01	-98,21	1365,83
49	1,44	-3,07	-67,46	1365,25	50	1,44	-1,04	-34,72	1364,65
51	1,50	0,00	0,00	1364,04	52	1,50	0,00	0,00	1363,63
53	1,56	0,00	0,00	1363,23	54	1,56	0,00	0,00	1362,82
55	1,62	0,00	0,00	1362,41	56	1,62	0,00	0,00	1362,00
57	1,68	0,00	0,00	1361,59	58	1,68	0,00	0,00	1361,19
59	1,74	0,00	0,00	1360,78	60	1,74	0,00	0,00	1360,37
61	1,80	0,00	0,00	1359,96	62	1,80	0,00	0,00	1359,56
63	1,86	0,00	0,00	1359,15	64	1,86	0,00	0,00	1358,74
65	1,92	0,00	0,00	1358,33	66	1,92	0,00	0,00	1357,92
67	1,98	0,00	0,00	1357,52	68	1,98	0,00	0,00	1357,11
69	2,04	0,00	0,00	1356,70	70	2,04	0,00	0,00	1356,29
71	2,10	0,00	0,00	1355,88	72	2,10	0,00	0,00	1355,48
73	2,16	0,00	0,00	1355,07	74	2,16	0,00	0,00	1354,66
75	2,22	0,00	0,00	1354,25	76	2,22	0,00	0,00	1353,84
77	2,28	0,00	0,00	1353,44	78	2,28	0,00	0,00	1353,03
79	2,34	0,00	0,00	1352,62	80	2,34	0,00	0,00	1352,21
81	2,40	0,00	0,00	1351,80	82	2,40	0,00	0,00	1351,40
83	2,46	0,00	0,00	1350,99	84	2,46	0,00	0,00	1350,58
85	2,52	0,00	0,00	1350,17	86	2,52	0,00	0,00	1349,76
87	2,58	0,00	0,00	1349,36	88	2,58	0,00	0,00	1348,95
89	2,64	0,00	0,00	1348,54	90	2,64	0,00	0,00	1348,13
91	2,70	0,00	0,00	1347,73	92	2,70	0,00	0,00	1347,32
93	2,76	0,00	0,00	1346,91	94	2,76	0,00	0,00	1346,50
95	2,82	0,00	0,00	1346,09	96	2,82	0,00	0,00	1345,69
97	2,88	0,00	0,00	1345,28	98	2,88	0,00	0,00	1344,87
99	2,94	0,00	0,00	1344,46	100	2,94	0,00	0,00	1344,05
101	3,00	0,00	0,00	1343,65	102				

Sollecitazioni limiti*Simbologia adottata*

Nr. Identificativo sezione
 Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso (in [m])
 Nr sforzo normale espresso in [kg]
 Tr taglio espresso in [kg]
 Mr momento espresso in [kgm]

n°	Y	Mr	Tr	Nr	n°	Y	Mr	Tr	Nr
	[m]	[kgm]	[kg]	[kg]		[m]	[kgm]	[kg]	[kg]
1	0,00	-201,83	242,20	13214,87	2	0,00	-201,83	242,20	13214,87
3	0,06	-216,20	233,40	13214,74	4	0,06	-216,20	233,40	13214,74
5	0,12	-230,04	221,25	13214,45	6	0,12	-230,04	221,25	13214,45
7	0,18	-243,08	204,64	13214,00	8	0,18	-243,08	204,64	13214,00
9	0,24	-255,06	183,59	13213,37	10	0,24	-255,06	183,59	13213,37
11	0,30	-265,71	158,08	13212,58	12	0,30	-265,71	158,08	13212,58
13	0,36	-274,76	128,13	13211,62	14	0,36	-274,76	128,13	13211,62
15	0,42	-281,95	93,72	13210,50	16	0,42	-281,95	93,72	13210,50
17	0,48	-287,01	54,87	13209,21	18	0,48	-287,01	54,87	13209,21
19	0,54	-289,67	11,56	13207,76	20	0,54	-289,67	11,56	13207,76
21	0,60	-289,66	-36,20	13206,13	22	0,60	-289,66	-36,20	13206,13
23	0,66	-286,72	-88,40	13204,34	24	0,66	-286,72	-88,40	13204,34
25	0,72	-280,59	-145,06	13202,39	26	0,72	-280,59	-145,06	13202,39
27	0,78	-270,98	-206,16	13200,27	28	0,78	-270,98	-206,16	13200,27
29	0,84	-257,65	-271,72	13197,98	30	0,84	-257,65	-271,72	13197,98
31	0,90	-240,31	-341,73	13195,52	32	0,90	-240,31	-341,73	13195,52
33	0,96	-218,71	-416,19	13192,90	34	0,96	-218,71	-416,19	13192,90
35	1,02	-192,57	-495,09	13190,11	36	1,02	-192,57	-495,09	13190,11
37	1,08	-161,63	-578,45	13187,16	38	1,08	-161,63	-578,45	13187,16
39	1,14	-125,68	-618,59	13184,04	40	1,14	-125,68	-618,59	13184,04
41	1,20	-89,88	-528,04	13180,75	42	1,20	-89,88	-528,04	13180,75
43	1,26	-59,63	-431,33	13177,30	44	1,26	-59,63	-431,33	13177,30
45	1,32	-35,25	-330,17	13173,68	46	1,32	-35,25	-330,17	13173,68
47	1,38	-17,01	-224,56	13169,90	48	1,38	-17,01	-224,56	13169,90
49	1,44	-5,17	-114,51	13165,94	50	1,44	-5,17	-114,51	13165,94
51	1,50	0,00	0,00	13161,82	52	1,50	0,00	0,00	13161,82
53	1,56	0,00	0,00	13154,28	54	1,56	0,00	0,00	13154,28
55	1,62	0,00	0,00	13146,74	56	1,62	0,00	0,00	13146,74
57	1,68	0,00	0,00	13139,20	58	1,68	0,00	0,00	13139,20
59	1,74	0,00	0,00	13131,66	60	1,74	0,00	0,00	13131,66
61	1,80	0,00	0,00	13124,12	62	1,80	0,00	0,00	13124,12
63	1,86	0,00	0,00	13116,58	64	1,86	0,00	0,00	13116,58
65	1,92	0,00	0,00	13109,05	66	1,92	0,00	0,00	13109,05
67	1,98	0,00	0,00	13101,51	68	1,98	0,00	0,00	13101,51
69	2,04	0,00	0,00	13093,97	70	2,04	0,00	0,00	13093,97
71	2,10	0,00	0,00	13086,43	72	2,10	0,00	0,00	13086,43
73	2,16	0,00	0,00	13078,89	74	2,16	0,00	0,00	13078,89
75	2,22	0,00	0,00	13071,35	76	2,22	0,00	0,00	13071,35
77	2,28	0,00	0,00	13063,81	78	2,28	0,00	0,00	13063,81
79	2,34	0,00	0,00	13056,27	80	2,34	0,00	0,00	13056,27
81	2,40	0,00	0,00	13048,73	82	2,40	0,00	0,00	13048,73
83	2,46	0,00	0,00	13041,19	84	2,46	0,00	0,00	13041,19
85	2,52	0,00	0,00	13033,65	86	2,52	0,00	0,00	13033,65
87	2,58	0,00	0,00	13026,11	88	2,58	0,00	0,00	13026,11
89	2,64	0,00	0,00	13018,57	90	2,64	0,00	0,00	13018,57
91	2,70	0,00	0,00	13011,03	92	2,70	0,00	0,00	13011,03
93	2,76	0,00	0,00	13003,49	94	2,76	0,00	0,00	13003,49
95	2,82	0,00	0,00	12995,95	96	2,82	0,00	0,00	12995,95
97	2,88	0,00	0,00	12988,41	98	2,88	0,00	0,00	12988,41
99	2,94	0,00	0,00	12980,87	100	2,94	0,00	0,00	12980,87
101	3,00	0,00	0,00	0,00	102				

Diagramma Carico-Cedimento verticale

Simbologia adottata

N Carico sul palo espressa in [kg]
 w Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w	n°	N	w
	[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]		[kg]	[cm]
1	1359	0,126	2	3348	0,310	3	6324	0,586	4	10651	1,000
5	13215	1,253	6			7			8		

Diagramma Carico-Cedimento orizzontale

Simbologia adottata

N Carico sul palo espressa in [kg]
u Cedimento del palo espresso in [cm]

n°	N	u									
	[kg]	[cm]									
1	180	1,140	2	181	1,145	3	182	1,164	4	186	1,240
5	195	1,411	6	205	1,615	7	209	1,738	8	212	1,800
9	213	1,831	10	213	1,847	11	216	1,909	12	223	2,162
13	231	2,673	14	235	3,157	15	237	3,400	16	237	3,522
17	237	3,583	18	238	3,826	19	239	4,293	20	240	4,703
21	240	4,909	22	240	5,038	23	241	5,557	24	241	6,476
25	242	7,197	26	242	7,632	27	242	7,849	28	242	7,958
29	242	8,012	30	242	8,229	31	242	9,098	32	242	12,572
33	242	12,572	34	242	12,572	35	242	12,572	36	242	12,573
37	242	12,573	38	242	12,574	39	242	12,579	40	242	12,597
41	242	12,660	42	242	12,767	43	242	13,194	44	242	13,194
45	242	13,194	46	242	13,194	47	242	13,194	48	242	13,195
49	242	13,196	50	242	13,203	51			52		

Descrizione armature

La verifica delle sezioni è stata effettuata con il metodo degli stati limite ultimi.

Verifica armature pali

Simbologia adottata

Y ordinata della sezione a partire dalla testa positiva verso il basso espressa in [m]
CS coefficiente di sicurezza
M momento agente, espresso in [kgm]
N sforzo normale agente, espresso in [kg]
Mu momento ultimo, espresso in [kgm]
Nu sforzo normale ultimo, espresso in [kg]
T taglio agente, espresso in [kg]
V_{Rd} taglio resistente, espresso in [kg]

Verifiche a presso-flessione

Combinazione n° 1

Y	M _u	N _u	T _u	CS
[m]	[kgm]	[kg]	[kg]	
0,00	5000	0	230370	33,33
0,03	5000	0	230370	32,18
0,06	5000	0	230370	31,13
0,09	5000	0	230370	30,16
0,12	5000	0	230370	29,28
0,15	5000	0	230370	28,49
0,18	5000	0	230370	27,77
0,21	5000	0	230370	27,13
0,24	5000	0	230370	26,55
0,27	5000	0	230370	26,05
0,30	5000	0	230370	25,61
0,33	5000	0	230370	25,24
0,36	5000	0	230370	24,93
0,39	5000	0	230370	24,69
0,42	5000	0	230370	24,51
0,45	5000	0	230370	24,40
0,48	5000	0	230370	24,35
0,51	5000	0	230370	24,38

Y	M _u	N _u	T _u	CS
[m]	[kgm]	[kg]	[kg]	
0,54	5000	0	230370	24,48
0,57	5000	0	230370	24,66
0,60	5000	0	230370	24,94
0,63	5000	0	230370	25,31
0,66	5000	0	230370	25,79
0,69	5000	0	230370	26,41
0,72	5000	0	230370	27,18
0,75	5000	0	230370	28,12
0,78	5000	0	230370	29,26
0,81	5000	0	230370	30,60
0,84	5000	0	230370	32,18
0,87	5000	0	230370	34,04
0,90	5000	0	230370	36,22
0,93	5000	0	230370	38,78
0,96	5000	0	230370	41,79
0,99	5000	0	230370	45,35
1,02	5000	0	230370	49,59
1,05	5000	0	230370	54,69
1,08	5000	0	230370	60,87
1,11	5000	0	230370	68,46
1,14	5000	0	230370	77,91
1,17	5000	0	230370	89,88
1,20	5000	0	230370	105,35
1,23	5000	0	230370	125,85
1,26	5000	0	230370	153,84
1,29	5000	0	230370	193,54
1,32	5000	0	230370	252,62
1,35	5000	0	230370	346,38
1,38	5000	0	230370	509,10
1,41	5000	0	230370	831,73
1,44	5000	0	230370	1000,00
1,47	5000	0	230370	1000,00
1,50	5000	0	230370	100,00
1,53	5000	0	230370	100,00
1,56	5000	0	230370	100,00
1,59	5000	0	230370	100,00
1,62	5000	0	230370	100,00
1,65	5000	0	230370	100,00
1,68	5000	0	230370	100,00
1,71	5000	0	230370	100,00
1,74	5000	0	230370	100,00
1,77	5000	0	230370	100,00
1,80	5000	0	230370	100,00
1,83	5000	0	230370	100,00
1,86	5000	0	230370	100,00
1,89	5000	0	230370	100,00
1,92	5000	0	230370	100,00
1,95	5000	0	230370	100,00
1,98	5000	0	230370	100,00
2,01	5000	0	230370	100,00
2,04	5000	0	230370	100,00
2,07	5000	0	230370	100,00
2,10	5000	0	230370	100,00
2,13	5000	0	230370	100,00
2,16	5000	0	230370	100,00
2,19	5000	0	230370	100,00
2,22	5000	0	230370	100,00
2,25	5000	0	230370	100,00
2,28	5000	0	230370	100,00
2,31	5000	0	230370	100,00
2,34	5000	0	230370	100,00
2,37	5000	0	230370	100,00
2,40	5000	0	230370	100,00
2,43	5000	0	230370	100,00
2,46	5000	0	230370	100,00
2,49	5000	0	230370	100,00
2,52	5000	0	230370	100,00
2,55	5000	0	230370	100,00
2,58	5000	0	230370	100,00
2,61	5000	0	230370	100,00
2,64	5000	0	230370	100,00
2,67	5000	0	230370	100,00
2,70	5000	0	230370	100,00
2,73	5000	0	230370	100,00
2,76	5000	0	230370	100,00
2,79	5000	0	230370	100,00

Y	M _u	N _u	T _u	CS
[m]	[kgm]	[kg]	[kg]	
2,82	5000	0	230370	100,00
2,85	5000	0	230370	100,00
2,88	5000	0	230370	100,00
2,91	5000	0	230370	100,00
2,94	5000	0	230370	100,00
2,97	5000	0	230370	100,00
3,00	5000	0	230370	100,00

Verifiche a taglio

Combinazione n° 1

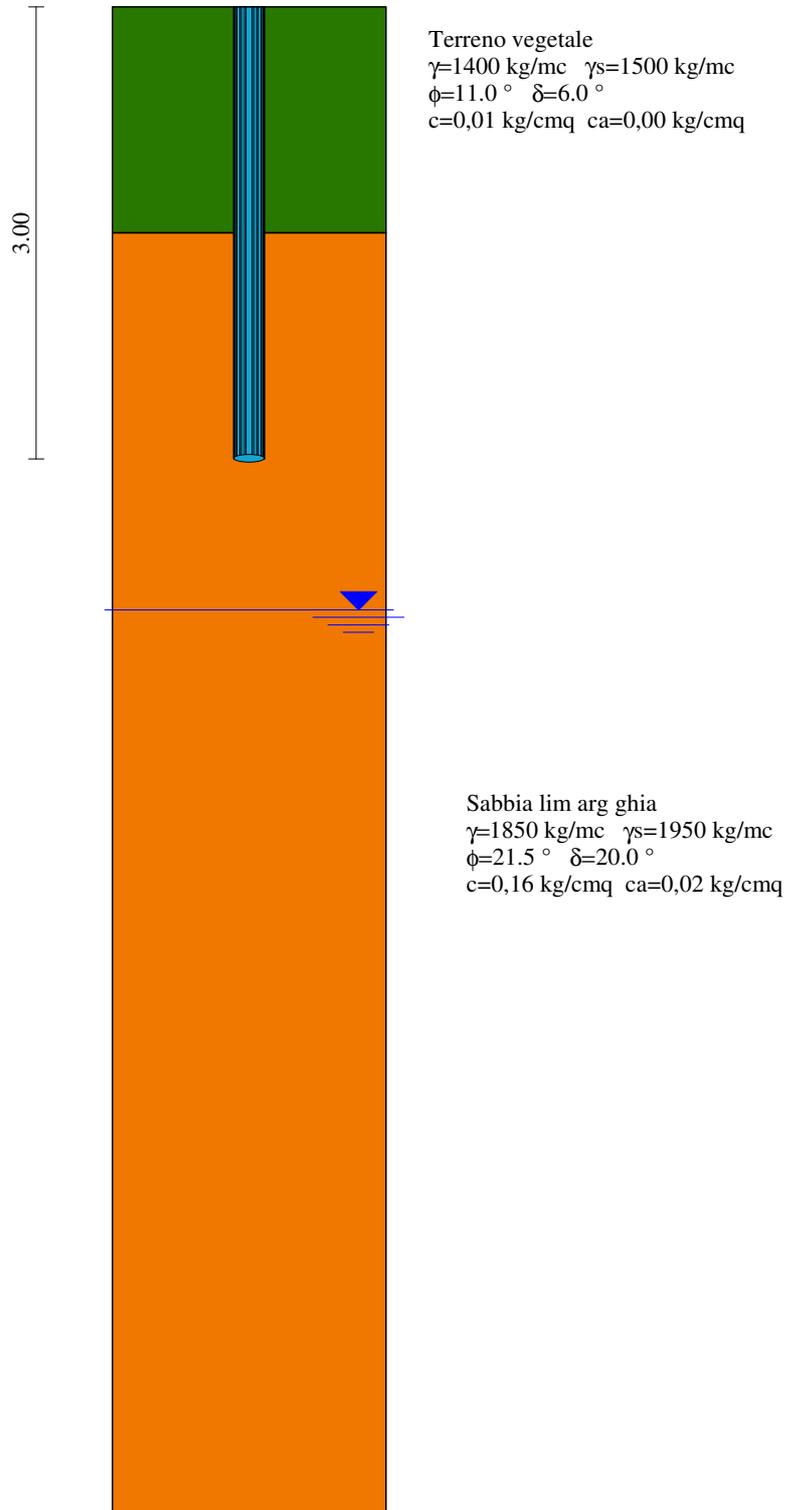
Inviluppo verifiche

Inviluppo

Y	A _r	M _u	N _u	CS	V _{Rd}	CS _T
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]		[kg]	
0,00	7,64	5000	0	33.33	0	1279.83
0,03	7,64	5000	0	32.18	0	1311.81
0,06	7,64	5000	0	31.13	0	1345.59
0,09	7,64	5000	0	30.16	0	1390.43
0,12	7,64	5000	0	29.28	0	1448.42
0,15	7,64	5000	0	28.49	0	1522.57
0,18	7,64	5000	0	27.77	0	1617.26
0,21	7,64	5000	0	27.13	0	1738.99
0,24	7,64	5000	0	26.55	0	1897.76
0,27	7,64	5000	0	26.05	0	2109.73
0,30	7,64	5000	0	25.61	0	2402.56
0,33	7,64	5000	0	25.24	0	2827.87
0,36	7,64	5000	0	24.93	0	3494.14
0,39	7,64	5000	0	24.69	0	4674.34
0,42	7,64	5000	0	24.51	0	7307.50
0,45	7,64	5000	0	24.40	0	18205.65
0,48	7,64	5000	0	24.35	0	31427.68
0,51	7,64	5000	0	24.38	0	8104.02
0,54	7,64	5000	0	24.48	0	4549.56
0,57	7,64	5000	0	24.66	0	3114.91
0,60	7,64	5000	0	24.94	0	2341.37
0,63	7,64	5000	0	25.31	0	1858.75
0,66	7,64	5000	0	25.79	0	1529.71
0,69	7,64	5000	0	26.41	0	1291.54
0,72	7,64	5000	0	27.18	0	1119.83
0,75	7,64	5000	0	28.12	0	1002.90
0,78	7,64	5000	0	29.26	0	919.84
0,81	7,64	5000	0	30.60	0	859.36
0,84	7,64	5000	0	32.18	0	814.92
0,87	7,64	5000	0	34.04	0	782.45
0,90	7,64	5000	0	36.22	0	759.39
0,93	7,64	5000	0	38.78	0	744.05
0,96	7,64	5000	0	41.79	0	735.37
0,99	7,64	5000	0	45.35	0	732.71
1,02	7,64	5000	0	49.59	0	735.74
1,05	7,64	5000	0	54.69	0	744.44
1,08	7,64	5000	0	60.87	0	759.06
1,11	7,64	5000	0	68.46	0	780.15
1,14	7,64	5000	0	77.91	0	808.61
1,17	7,64	5000	0	89.88	0	845.85
1,20	7,64	5000	0	105.35	0	893.93
1,23	7,64	5000	0	125.85	0	955.98
1,26	7,64	5000	0	153.84	0	1036.75
1,29	7,64	5000	0	193.54	0	1143.83
1,32	7,64	5000	0	252.62	0	1289.92
1,35	7,64	5000	0	346.38	0	1498.00
1,38	7,64	5000	0	509.10	0	1814.07
1,41	7,64	5000	0	831.73	0	2345.62
1,44	7,64	5000	0	1000.00	0	3415.17

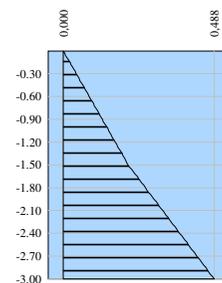
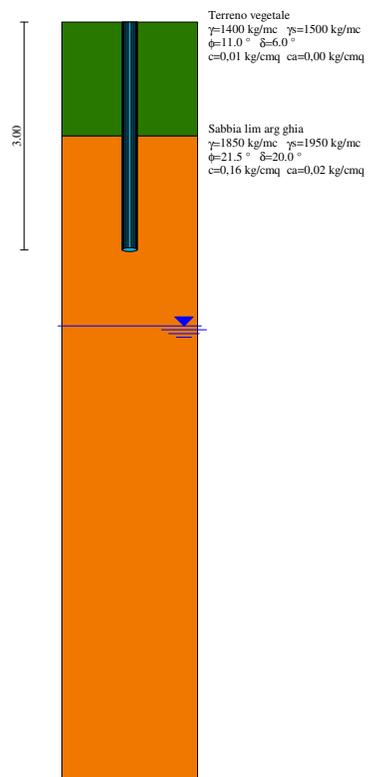
Y	A _r	M _u	N _u	CS	V _{Rd}	CS _T
[m]	[cmq]	[kgm]	[kg]		[kg]	
1,47	7,64	5000	0	1000.00	0	6635.51
1,50	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,53	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,56	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,59	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,62	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,65	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,68	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,71	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,74	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,77	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,80	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,83	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,86	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,89	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,92	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,95	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
1,98	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,01	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,04	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,07	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,10	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,13	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,16	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,19	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,22	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,25	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,28	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,31	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,34	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,37	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,40	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,43	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,46	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,49	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,52	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,55	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,58	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,61	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,64	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,67	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,70	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,73	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,76	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,79	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,82	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,85	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,88	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,91	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,94	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
2,97	7,64	5000	0	100.00	0	100.00
3,00	7,64	5000	0	100.00	0	100.00

Stratigrafia

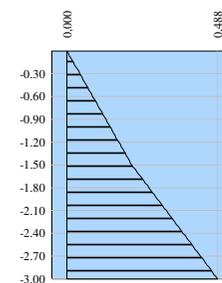


Diagrammi pressioni

Diagrammi pressione verticale

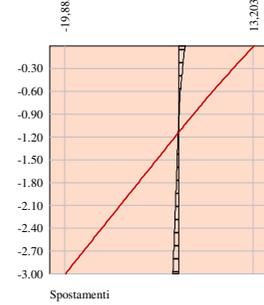
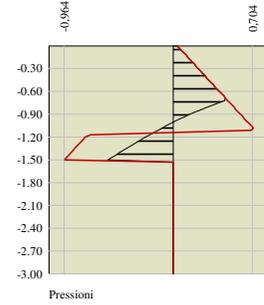
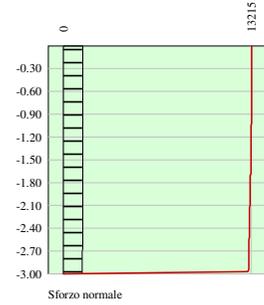
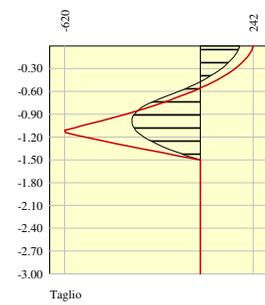
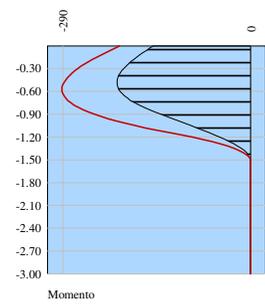


Pressione verticale
[Portanza di punta]

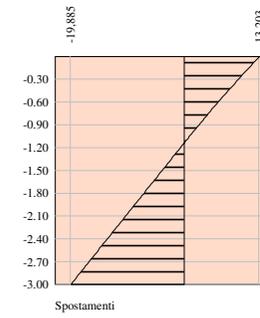
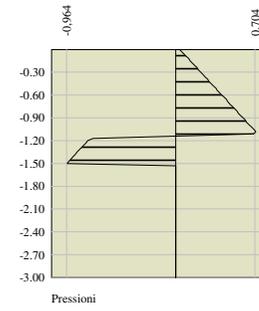
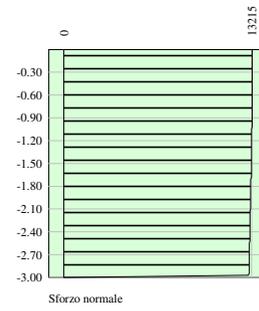
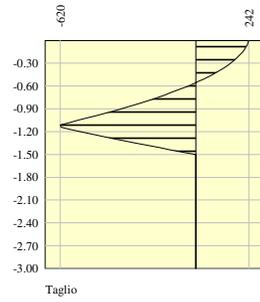
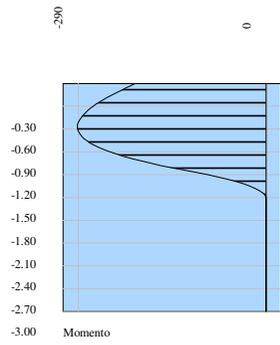


Pressione verticale
[Portanza laterale]

Diagrammi esercizio palo n° 1 - Direzione principale



Diagrammi limiti palo n° 1 - Direzione principale



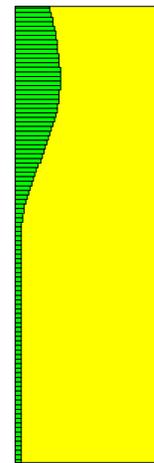
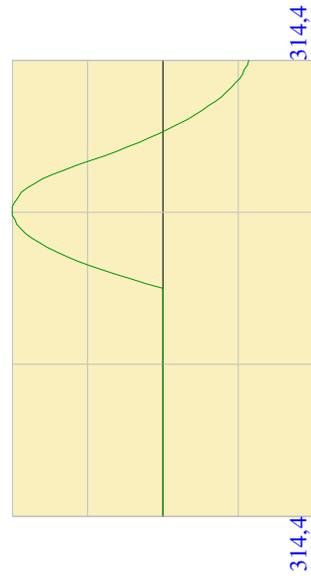
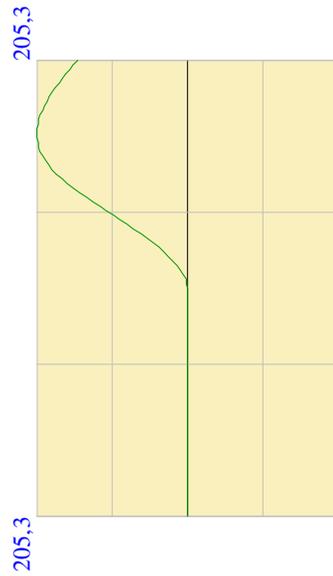
Armature palo

300



Palo N° 1
L = 3,0 m
D = 20 cm
M = -150,0 kgm
N = 1375,0 kg
T = 180,0 kg

20



Richiami teorici carico limite in fondazione SE Serracapriola

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 (D / B) K_p^{0.5}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (D / B) s K_p^{0.5} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\circ$$

$$i_\gamma = [1 - (\theta^\circ / \phi^\circ)]^\circ \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0$$

$$\text{per } \phi = 0$$

Per tenere conto del sisma, si può ridurre l'angolo d'attrito del terreno secondo il criterio di Vesic. Il valore che propone Vesic è $d\phi = 2,00^\circ$. Questo valore può però variare in funzione dell'esperienza.

Verifica allo scorrimento

Per la verifica a scorrimento lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere la fondazione deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere la fondazione F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle della fondazione. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 30 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Calcolo delle tensioni indotte

Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato Q , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto $P(x,y,z)$ posto alla profondità z :

$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

dove: $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico Q come un carico infinitesimo agente su una areola dA . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico dQ : la tensione indotta in un punto $P(x,y,z)$, posto alla profondità z , si otterrà sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

Dati

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

<i>Descrizione</i>	Descrizione della fondazione
<i>Forma</i>	Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]
<i>B</i>	Base/Diametro della fondazione espressa in [m]
<i>L</i>	Lunghezza della fondazione espressa in [m]
<i>D</i>	Profondità del piano di posa in [m]
<i>α</i>	Inclinazione del piano di posa espressa in [°]
<i>ω</i>	Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X [m]	Y [m]	B [m]	L [m]	D [m]	α [°]	ω [°]
Fondazione	(R)	0,00	0,00	1,20	6,00	1,50	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
<i>γ</i>	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
<i>γ_{sat}</i>	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
<i>φ</i>	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
<i>δ</i>	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
<i>c</i>	Coazione del terreno espressa in [kg/cm ²]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kg/cm ²]

Descr	γ [kg/mc]	γ _{sat} [kg/mc]	φ [°]	δ [°]	c [kg/cm ²]	ca [kg/cm ²]
Sabbia limo arg. giallastra	1870,0	1960,0	26.00	16.00	0,060	0,000
Terreno vegetale e crosta evap.	1300,0	1350,0	12.00	0.00	0,000	0,000
Ghiaia con sabbia argillosa	1900,0	1920,0	29.00	19.00	0,100	0,002

Falda

Profondità dal piano campagna 3,00 [m]

Descrizione prova SPT

Simbologia adottata

<i>n°</i>	Numero d'ordine dei valori della prova
<i>Z_i</i>	Profondità alla quale viene fatta la misura espressa in [m]
<i>N_{SPT}</i>	Numero di colpi

n°	Z _i [m]	N _{SPT}
1	2,00	17
2	5,00	22

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno dello strato
kh	Coefficiente per calcolo resistenza superfici laterali

Punto di sondaggio n° 1:	X = 0,0 [m]	Y = 0,0 [m]
Punto di sondaggio n° 2:	X = 3,0 [m]	Y = 0,0 [m]
Punto di sondaggio n° 3:	X = 0,0 [m]	Y = 3,0 [m]

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno	kh
	[m]	[m]	[m]		
1	-1,5	-1,5	-1,5	Terreno vegetale e crosta evap.	0,00
2	-4,0	-4,0	-4,0	Ghiaia con sabbia argillosa	0,00
3	-20,0	-20,0	-20,0	Sabbia limo arg. giallastra	0,00

Normativa

N.T.C. 2018

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{\tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
γ_c'	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_r	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	γ_c'	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

		R1	R2	R3	R3sism
Capacità portante	γ_r	1.00	1.80	2.30	1.80
Scorrimento	γ_r	1.00	1.10	1.10	

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.
 Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
 Momento positivo senso antiorario.

Fondazione Nome identificativo della fondazione

N	Sforzo normale totale espressa in [kg]
M_x	Momento in direzione X espressa in [kgm]
M_y	Momento in direzione Y espresso in [kgm]
e_x	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
e_y	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
β	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
T	Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - VARIABILE

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	[kgm]	[kgm]	[m]	[m]		[kg]
Fondazione	12000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico*Simbologia adottata*

γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
Condizione n° 1	1.00	1.00

Opzioni di calcolo**Analisi in condizioni drenate***Verifica al carico limite*

Metodo di calcolo della portanza:	Meyerhof
Altezza del cuneo di rottura:	AUTOMATICA
Criterio per il calcolo del macrostrato equivalente:	MEDIA ARITMETICA
Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:	
Riduzione sismica:	VESIC [2,00°]

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Riduzione per carico eccentrico:	MEYERHOF
Meccanismo di punzonamento in presenza di falda.	

Verifica allo scorrimento

Partecipazione spinta passiva terreno di rifianco: 0.00 (%)

Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.

In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%)

E' stato richiesto di tenere in conto della fondazione compensata.

Risultati

Verifica della portanza per carichi verticali

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Indice della combinazione
<i>Fnd</i>	Indice della fondazione
<i>PF</i>	Rottura per punzonamento in presenza di falda
q_u	Portanza ultima, espressa in [kg/cm ²]
q_d	Portanza di progetto, espressa in [kg/cm ²]
P_u	Portanza ultima, espressa in [kg]
P_d	Portanza di progetto, espressa in [kg]
<i>V</i>	Carico ortogonale al piano di posa, espresso in [kg]
η	Fattore di sicurezza a carico limite ($\eta = P_d/V$)

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	<i>PF</i>	q_u [kg/cm ²]	q_d [kg/cm ²]	P_u [kg]	P_d [kg]	<i>V</i> [kg]	η
1	1	NO	8,36	3,64	602055	261763	12000	21.81

Caratteristiche terreno e fondazione di progetto

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Indice della combinazione
<i>Fnd</i>	Indice della fondazione
<i>H</i>	Altezza del cuneo di rottura, espressa in [m]
γ	Peso di volume, espressa in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito, espressa in [°]
<i>c</i>	Coesione, espressa in [kg/cm ²]
<i>G</i>	Modulo di taglio, espresso in [kg/cm ²]
B'	Base ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($B' = B - 2e_x$), espressa in [m]
L'	Lunghezza ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($L' = L - 2e_y$), espressa in [m]
R_{ex}	Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo X
R_{ey}	Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo Y
I_R	Indice di rigidezza
I_{RC}	Indice di rigidezza critico

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	<i>H</i> [m]	γ [kg/mc]	ϕ [°]	<i>c</i> [kg/cm ²]	<i>G</i> [kg/cm ²]	B' [m]	L' [m]	R_{ex}	R_{ey}	I_c	I_{RC}
1	1	1,02	1900,00	27,00	0,10	0,00	1,20	6,00	--	--	1,00	116,32

Fattori correttivi verifica capacità portante

Combinazione n° 1

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	$N_c = 23.94$	$N_q = 13.20$	$N_\gamma = 9.46$
Fattori di forma	$S_c = 1.11$	$S_q = 1.05$	$S_\gamma = 1.05$
Fattori per effetto del punzonamento	$\Psi_c = 1.00$	$\Psi_q = 1.00$	$\Psi_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del carico	$I_c = 1.00$	$I_q = 1.00$	$I_\gamma = 1.00$
Fattori di profondità	$D_c = 1.41$	$D_q = 1.20$	$D_\gamma = 1.20$

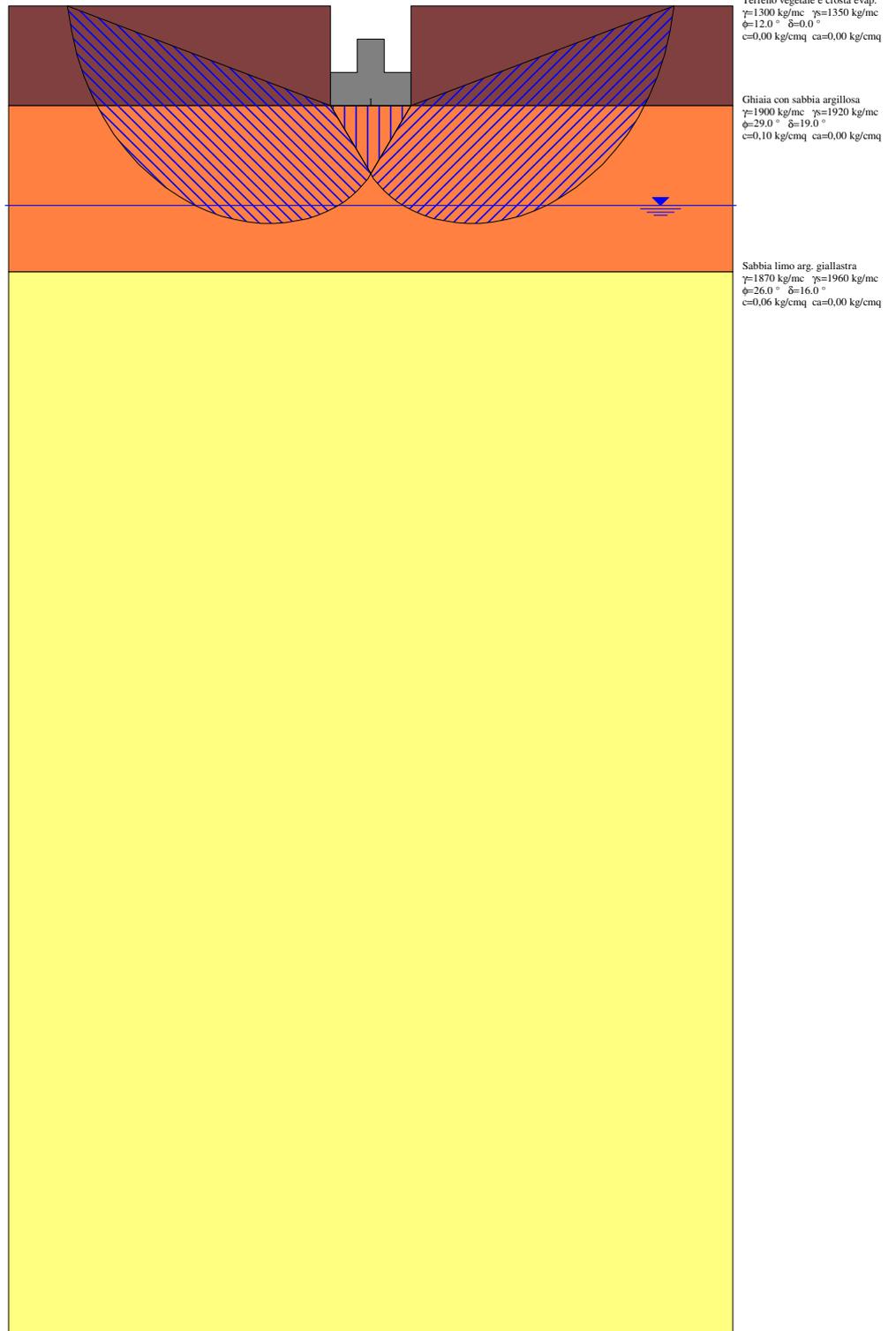
Verifica allo scorrimento

Simbologia adottata

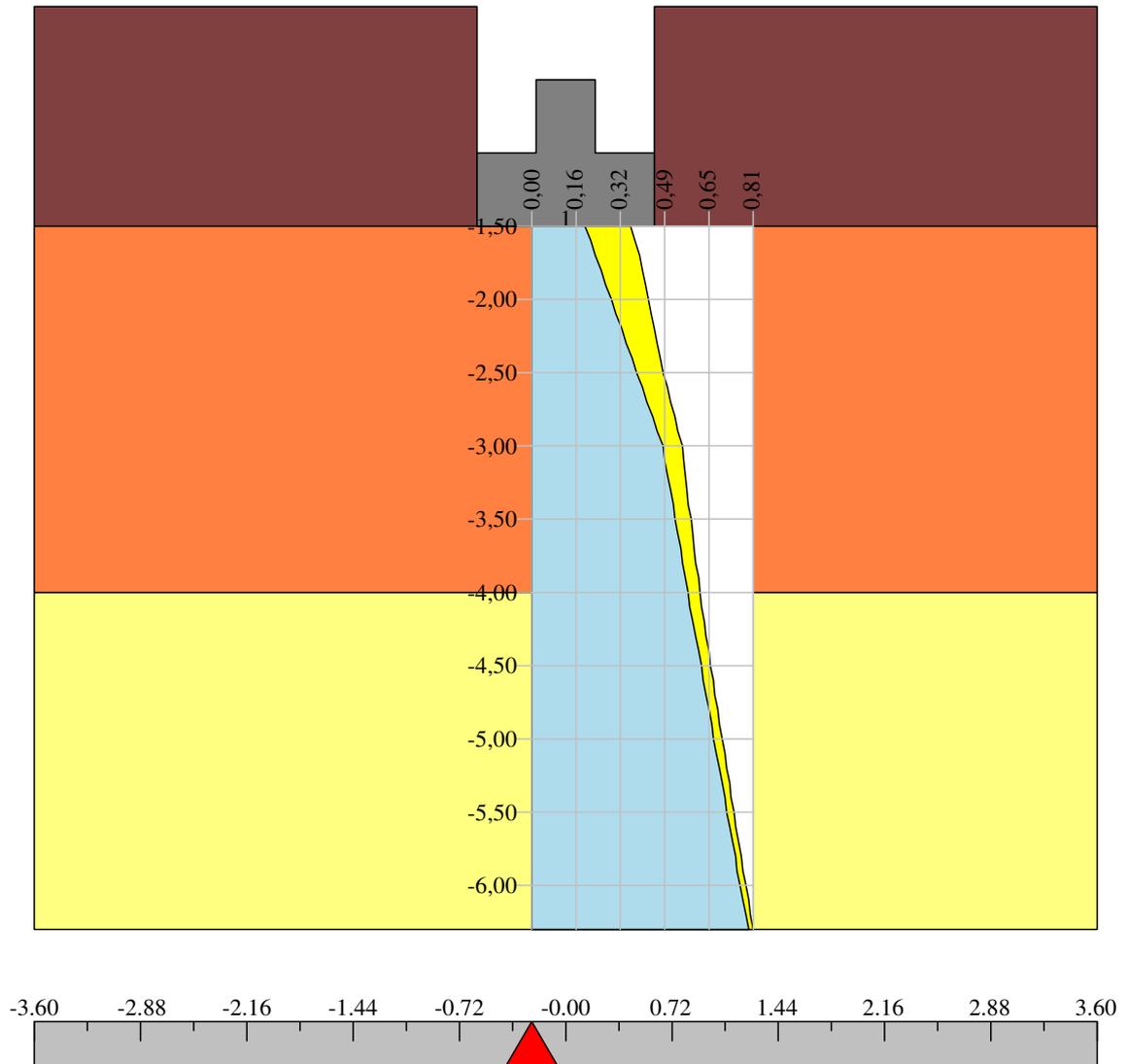
<i>Cmb</i>	Identificativo della combinazione
R_{ult1}	Resistenza offerta dal piano di posa per attrito ed adesione espressa in [kg]
R_{ult2}	Resistenza passiva offerta dall'affondamento del piano di posa espressa in [kg]
R_{ult3}	Resistenza offerta dalle superfici laterali espressa in [kg]
<i>R</i>	Somma di R_{ult1} e R_{ult2}
R_d	Resistenza di progetto allo scorrimento espressa in [kg]
<i>H</i>	Forza di taglio agente al piano di posa espresso in [kg]
η	Coeff. di sicurezza allo scorrimento ($\eta = R_d/H$)

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	R_{ult1} [kg]	R_{ult2} [kg]	R_{ult3} [kg]	<i>R</i> [kg]	R_{amm} [kg]	<i>H</i> [kg]	η
1	1	4276	0	0	4276	3887	0	100.00

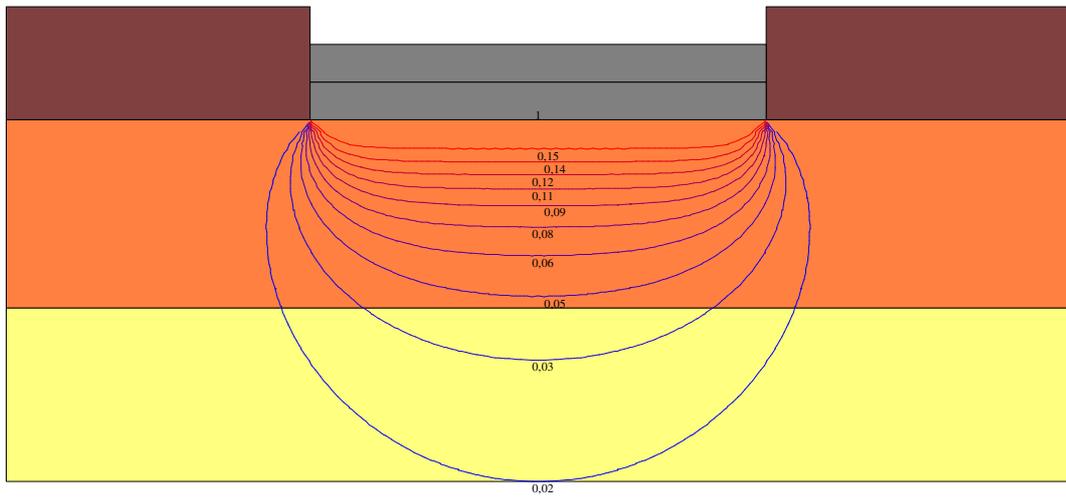
Cuneo di rottura



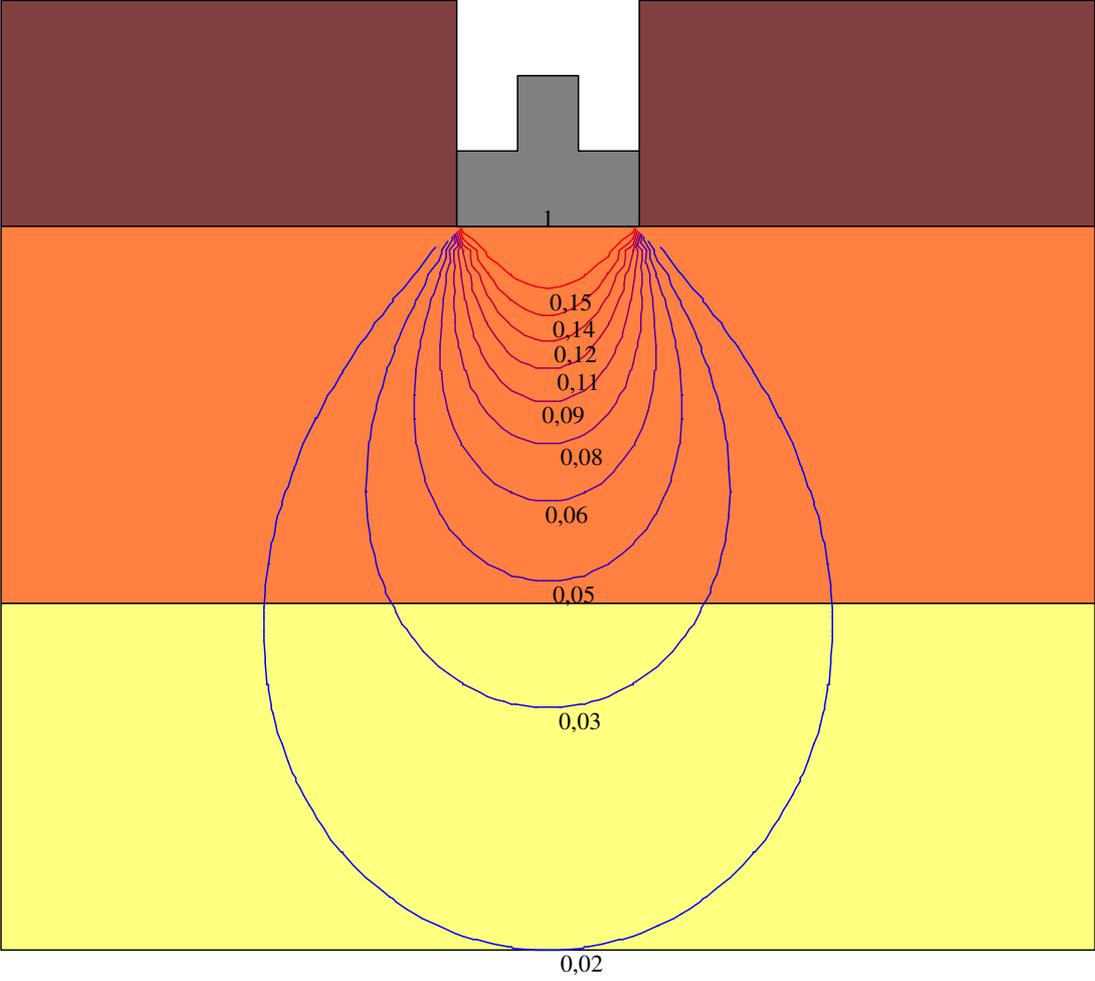
Andamento delle tensioni verticali - Sez X-X

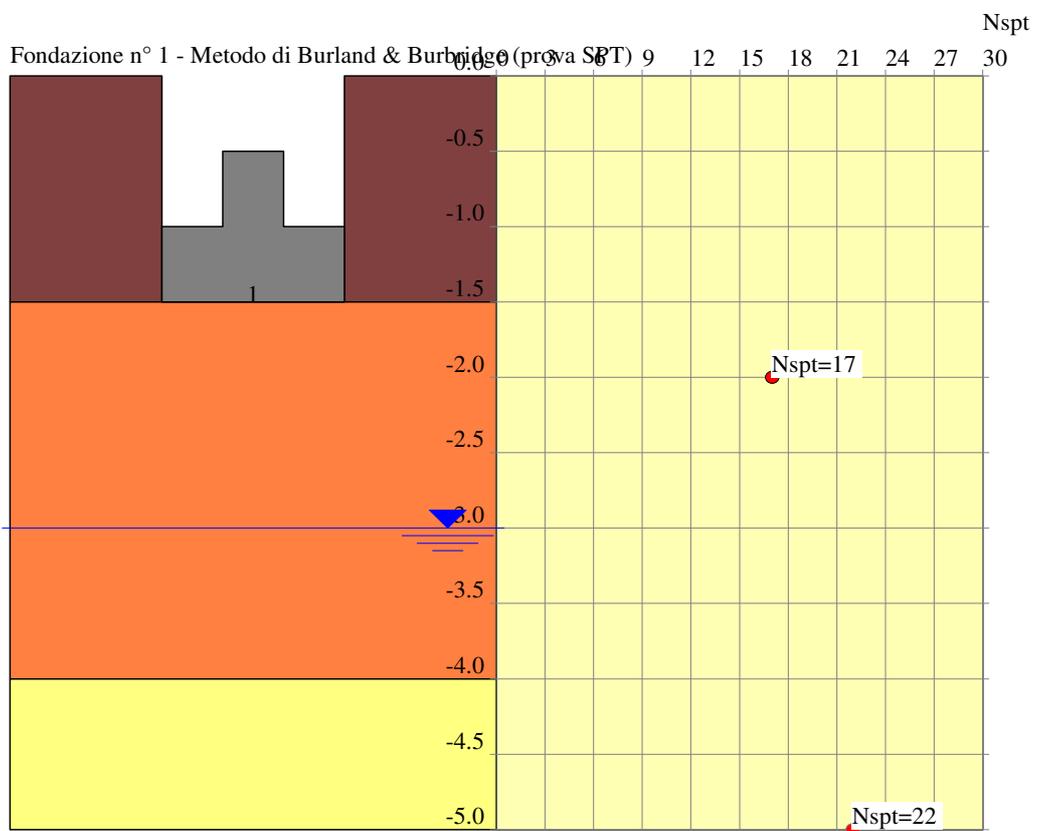


Bulbo delle tensioni - Sez Y-Y



Bulbo delle tensioni - Sez X-X





Richiami teorici carico limite in fondazione Condominio

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \operatorname{tg} \phi}$$

$$N_q = A \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \operatorname{tg} (1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 (D / B) K_p^{0.5}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (D / B) s K_p^{0.5} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\phi$$

$$i_\gamma = [1 - (\theta^\circ / \phi^\circ)]^2 \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Per tenere conto del sisma, si può ridurre l'angolo d'attrito del terreno secondo il criterio di Vesic. Il valore che propone Vesic è $d\phi = 2,00^\circ$. Questo valore può però variare in funzione dell'esperienza.

Verifica allo scorrimento

Per la verifica a scorrimento lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere la fondazione deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere la fondazione F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle della fondazione. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 30 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Calcolo delle tensioni indotte

Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato Q , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto $P(x,y,z)$ posto alla profondità z :

$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

dove: $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico Q come un carico infinitesimo agente su una areola dA . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico dQ : la tensione indotta in un punto $P(x,y,z)$, posto alla profondità z , si otterrà sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

Dati**Geometria della fondazione***Simbologia adottata*

<i>Descrizione</i>	Descrizione della fondazione
<i>Forma</i>	Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)
<i>X</i>	Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]
<i>Y</i>	Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]
<i>B</i>	Base/Diametro della fondazione espressa in [m]
<i>L</i>	Lunghezza della fondazione espressa in [m]
<i>D</i>	Profondità del piano di posa in [m]
<i>α</i>	Inclinazione del piano di posa espressa in [°]
<i>ω</i>	Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X [m]	Y [m]	B [m]	L [m]	D [m]	α [°]	ω [°]
Fondazione	(R)	0,00	0,00	1,20	6,00	1,50	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda*Caratteristiche fisico-meccaniche**Simbologia adottata*

<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
<i>γ</i>	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
<i>γ_{sat}</i>	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
<i>ϕ</i>	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
<i>δ</i>	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kg/cm ²]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kg/cm ²]

Descr	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ²]	ca [kg/cm ²]
Argilla limo sabbiosa e sabbia limosa con ghiaia	2000,0	2100,0	21,00	15,00	0,160	0,080
Terreno vegetale	1300,0	1350,0	12,00	0,00	0,000	0,000
Sabbia limo argillosa giallastra	1800,0	1900,0	27,00	18,00	0,060	0,002

Falda

Profondità dal piano campagna 3,00 [m]

Descrizione prova SPT*Simbologia adottata*

<i>n°</i>	Numero d'ordine dei valori della prova
<i>Z_i</i>	Profondità alla quale viene fatta la misura espressa in [m]
<i>N_{SPT}</i>	Numero di colpi

n°	Z _i [m]	N _{SPT}
1	1,00	4
2	1,50	26
3	5,00	37

Descrizione stratigrafia*Simbologia adottata*

<i>n°</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato
<i>kh</i>	Coefficiente per calcolo resistenza superfici laterali

Punto di sondaggio n° 1: X = 0,0 [m] Y = 0,0 [m]
 Punto di sondaggio n° 2: X = 3,0 [m] Y = 0,0 [m]
 Punto di sondaggio n° 3: X = 0,0 [m] Y = 3,0 [m]

n°	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	kh
1	-1,5	-1,5	-1,5	Terreno vegetale	0,00
2	-5,0	-5,0	-5,0	Argilla limo sabbiosa e sabbia limosa con ghiaia	0,00
3	-30,0	-30,0	-30,0	Sabbia limo argillosa giallastra	0,00

Normativa

N.T.C. 2018

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_{γ}	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

		R1	R2	R3	R3sism
Capacità portante	γ_r	1.00	1.80	2.30	1.80
Scorrimento	γ_r	1.00	1.10	1.10	

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.
 Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
 Momento positivo senso antiorario.

<i>Fondazione</i>	Nome identificativo della fondazione
<i>N</i>	Sforzo normale totale espressa in [kg]
<i>Mx</i>	Momento in direzione X espressa in [kgm]
<i>My</i>	Momento in direzione Y espresso in [kgm]
<i>ex</i>	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
<i>ey</i>	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
β	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
<i>T</i>	Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - VARIABILE

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	[kgm]	[kgm]	[m]	[m]		[kg]
Fondazione	12000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico*Simbologia adottata*

γ Coefficiente di partecipazione della condizione
 Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
Condizione n° 1	1.00	1.00

Opzioni di calcolo**Analisi in condizioni drenate***Verifica al carico limite*

Metodo di calcolo della portanza: Meyerhof
 Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA
 Criterio per il calcolo del macrostrato equivalente: MEDIA ARITMETICA
 Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:
 Riduzione sismica: VESIC [2,00°]

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00
 Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF
 Meccanismo di punzonamento in presenza di falda.

Verifica allo scorrimento

Partecipazione spinta passiva terreno di rinfiaccio: 0.00 (%)

Cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.

In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%)
 E' stato richiesto di tenere in conto della fondazione compensata.

Risultati

Verifica della portanza per carichi verticali

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Indice della combinazione
<i>Fnd</i>	Indice della fondazione
<i>PF</i>	Rottura per punzonamento in presenza di falda
q_u	Portanza ultima, espressa in [kg/cm ²]
q_d	Portanza di progetto, espressa in [kg/cm ²]
P_u	Portanza ultima, espressa in [kg]
P_d	Portanza di progetto, espressa in [kg]
<i>V</i>	Carico ortogonale al piano di posa, espresso in [kg]
η	Fattore di sicurezza a carico limite ($\eta = P_d/V$)

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	<i>PF</i>	q_u [kg/cm ²]	q_d [kg/cm ²]	P_u [kg]	P_d [kg]	<i>V</i> [kg]	η
1	1	NO	5,09	2,21	366243	159236	12000	13.27

Caratteristiche terreno e fondazione di progetto

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Indice della combinazione
<i>Fnd</i>	Indice della fondazione
<i>H</i>	Altezza del cuneo di rottura, espressa in [m]
γ	Peso di volume, espressa in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito, espressa in [°]
<i>c</i>	Coesione, espressa in [kg/cm ²]
<i>G</i>	Modulo di taglio, espresso in [kg/cm ²]
B'	Base ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($B' = B - 2e_x$), espressa in [m]
L'	Lunghezza ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($L' = L - 2e_y$), espressa in [m]
R_{ex}	Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo X
R_{ey}	Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo Y
I_R	Indice di rigidezza
I_{RC}	Indice di rigidezza critico

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	<i>H</i> [m]	γ [kg/mc]	ϕ [°]	<i>c</i> [kg/cm ²]	<i>G</i> [kg/cm ²]	B' [m]	L' [m]	R_{ex}	R_{ey}	I_c	I_{RC}
1	1	0,87	2000,00	19,00	0,16	0,00	1,20	6,00	--	--	1,00	53,38

Fattori correttivi verifica capacità portante

Combinazione n° 1

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	$N_c = 13.93$	$N_q = 5.80$	$N_\gamma = 2.40$
Fattori di forma	$S_c = 1.08$	$S_q = 1.04$	$S_\gamma = 1.04$
Fattori per effetto del punzonamento	$\Psi_c = 1.00$	$\Psi_q = 1.00$	$\Psi_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del carico	$I_c = 1.00$	$I_q = 1.00$	$I_\gamma = 1.00$
Fattori di profondità	$D_c = 1.35$	$D_q = 1.18$	$D_\gamma = 1.18$

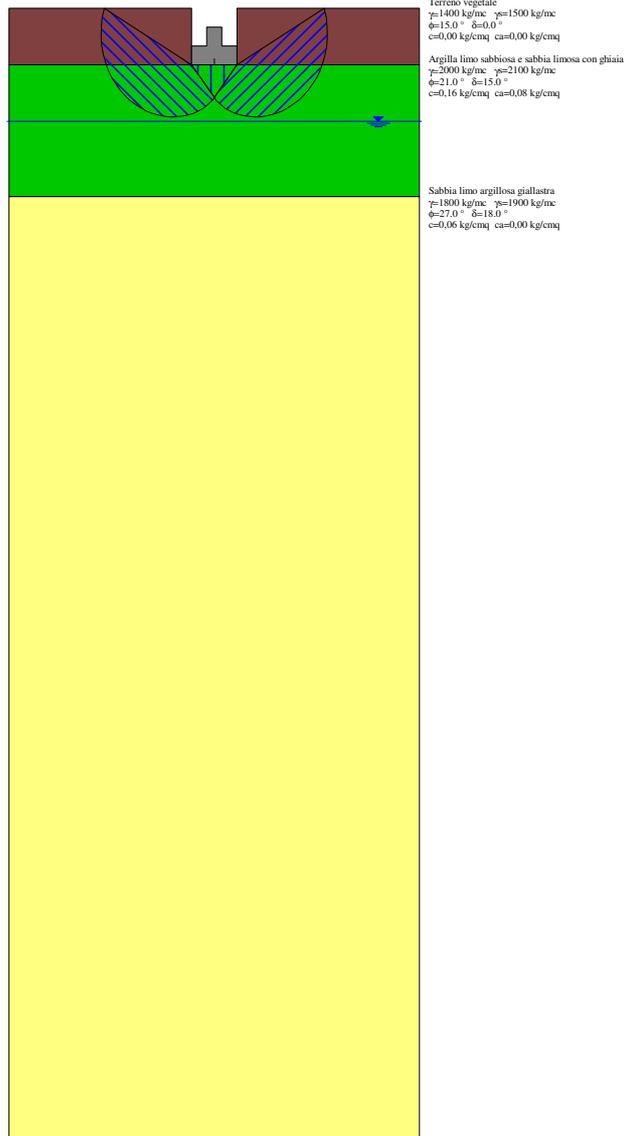
Verifica allo scorrimento

Simbologia adottata

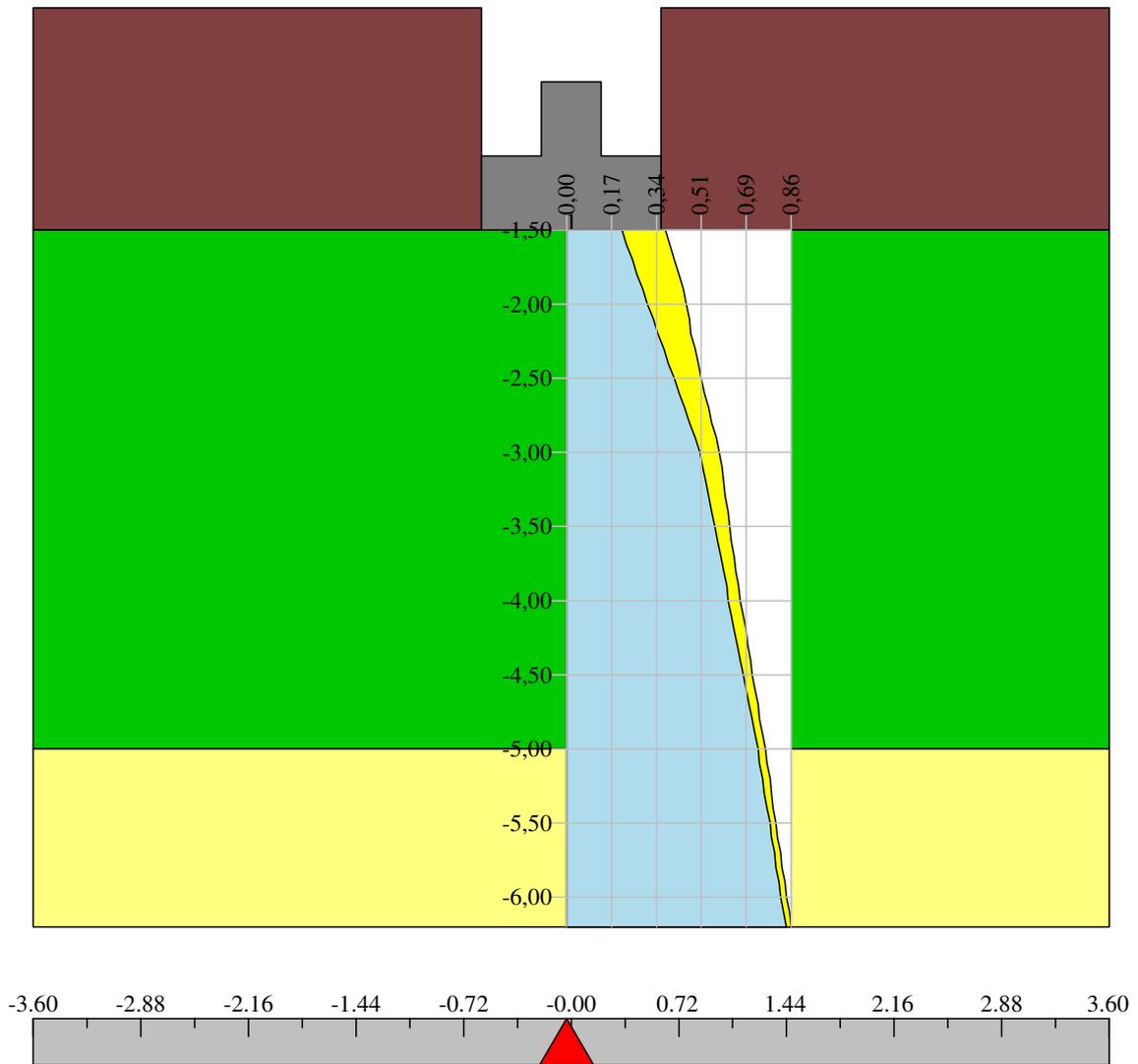
<i>Cmb</i>	Identificativo della combinazione
R_{ult1}	Resistenza offerta dal piano di posa per attrito ed adesione espressa in [kg]
R_{ult2}	Resistenza passiva offerta dall'affondamento del piano di posa espressa in [kg]
R_{ult3}	Resistenza offerta dalle superfici laterali espressa in [kg]
<i>R</i>	Somma di R_{ult1} e R_{ult2}
R_d	Resistenza di progetto allo scorrimento espressa in [kg]
<i>H</i>	Forza di taglio agente al piano di posa espresso in [kg]
η	Coeff. di sicurezza allo scorrimento ($\eta = R_d/H$)

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	R_{ult1} [kg]	R_{ult2} [kg]	R_{ult3} [kg]	<i>R</i> [kg]	R_{amm} [kg]	<i>H</i> [kg]	η
1	1	8975	0	0	8975	8159	0	100.00

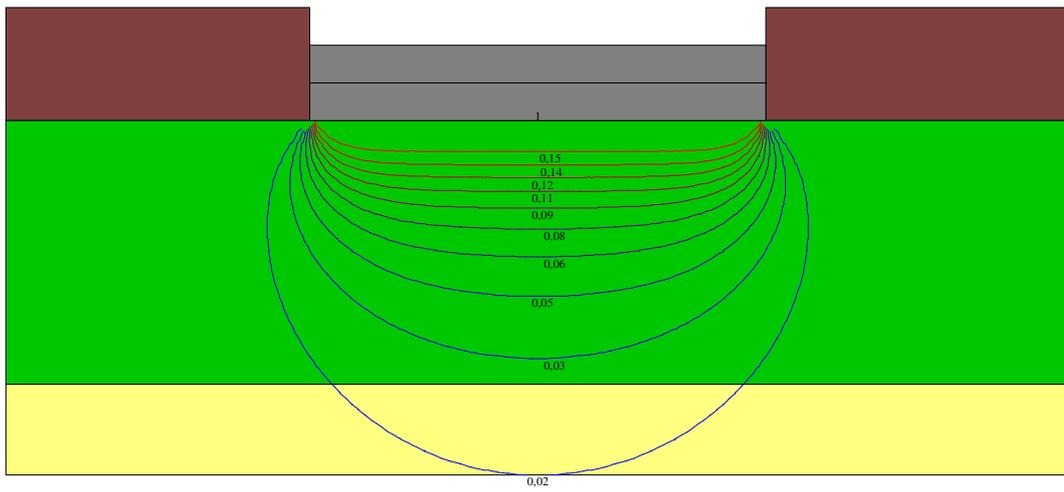
Cuneo di rottura



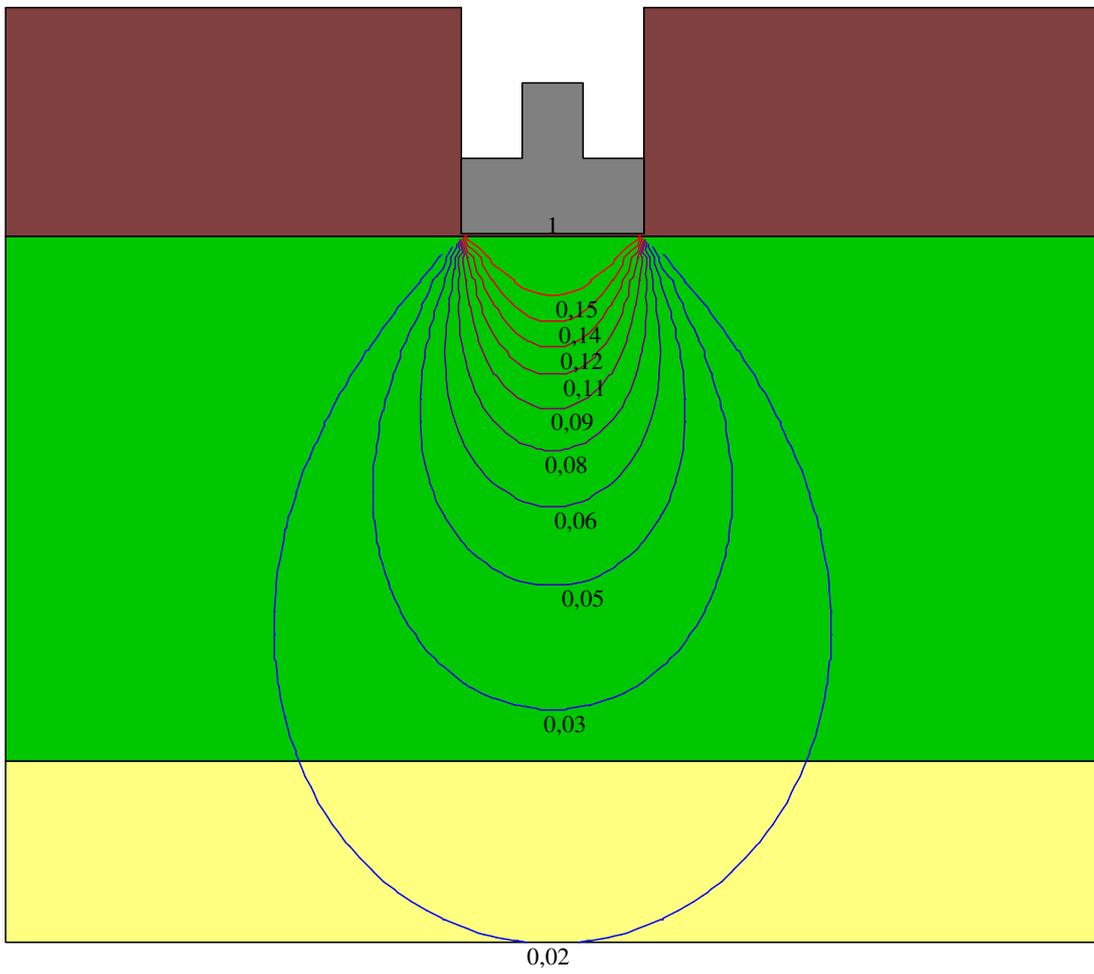
Andamento delle tensioni verticali - Sez X-X

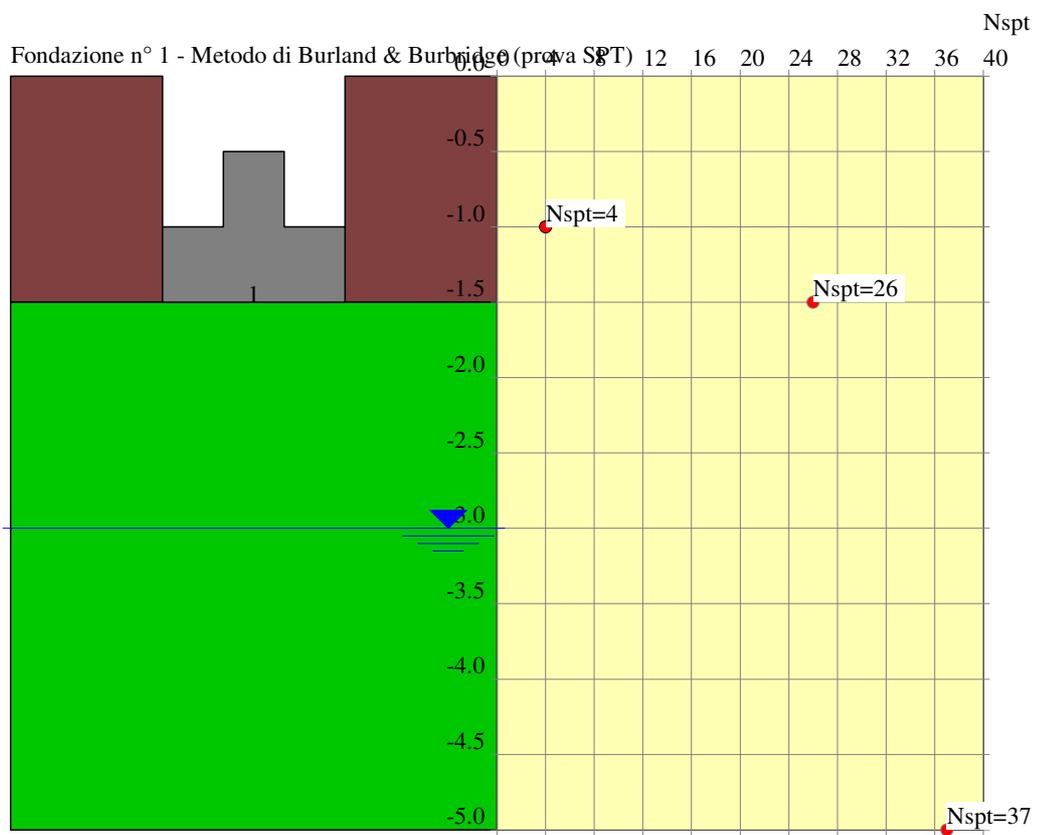


Bulbo delle tensioni - Sez Y-Y



Bulbo delle tensioni - Sez X-X





Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto Paolo di Civitate, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo del palo viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle sollecitazioni, dovute al carico applicato;
- Verifica a portanza verticale;
- Verifica a portanza trasversale;
- Calcolo dei cedimenti;
- Progetto e verifica delle armature del palo.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	CARL - Carico Limite e Cedimenti
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	GEOI. LA TESSA BALDASSARRE FRANCO
Licenza	AIU6015SI

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Il Tecnico
Dr. Geol. Baldassarre Franco LA TESSA