

REGIONE MARCHE  
PROVINCIA DI FERMO  
COMUNE DI FERMO





IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI  
RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA PRODUZIONE DI BIOMETANO

CIG: 9880245C18 – CUP: F62F18000070004

PROGETTO ESECUTIVO

NOME ELABORATO  <b>PLATEA DIGESTORI RELAZIONE GEOTECNICA</b>		CLASSE	<b>10.7</b>
		STRUTTURE PLATEA DIGESTORI	
		N. TAVOLA	<b>10.7.2</b>
		FORMATO	<b>A4</b>
		SCALA	<b>/</b>
CODIFICA ELABORATO	<b>23008-OW-C-101-RS-065-MA1-01</b>		

REV	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
01	29/10/2024	SECONDA EMISSIONE	A.LABBATE	C. BUTTICE'	R. MARTELLO
00	27/05/2024	PRIMA EMISSIONE	B. BARONE	C. BUTTICE'	R. MARTELLO

Committente	Progettista indicato	Mandataria
 <b>CITTA' DI FERMO</b> <b>Settore IV e V</b> <b>Lavori Pubblici, Protezione Civile,</b> <b>Ambiente, Urbanistica, Patrimonio,</b> <b>Contratti e Appalti</b> Via Mazzini 4 63900 – Fermo (FM)  <b>DOTT. Mauro Fortuna</b> RUP	 Via Resuttana 360 90142 -PALERMO  OWAC Engineering Company S.R.L. <b>ING. Rocco Martello</b> Direttore Tecnico  UNI EN ISO 9001:2015 N. 30233/14/S UNI EN ISO 45001:2018 N. OHS-4849 UNI EN ISO 14001:2015 N. EMS-9477/S UNI/PdR 74 :2019 N. SGBIM-01/23 UNI/PdR 74:2019 N. 21042BIM	 Via del Cardoncello 22 70022 – Altamura (BA)  EDILALTA S.R.L. <b>DOTT. Angelantonio Disabato</b> Socio  Mandante  Via Bassa di Casalmoro 3 46041 – Asola (MN)  ANAERGIA S.R.L. <b>DOTT. Andrea Parisi</b> Istitore



01	A.LABBATE	29/10/2024	C.BUTTICE	29/10/2024	R.MARTELLO	29/10/2024
00	B.BARONE	24/05/2024	C.BUTTICE	27/05/2024	R.MARTELLO	27/05/2024
<b>REV</b>	<b>ESEGUITO</b>	<b>DATA</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>DATA</b>	<b>APPROVATO</b>	<b>DATA</b>



## Sommario

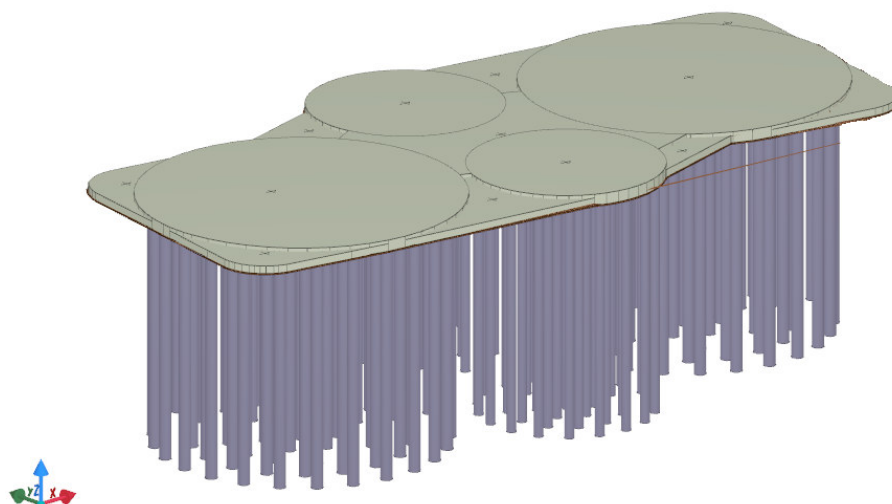
<b>1.</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>7</b>
3.1.	PROVE EFFETTUATE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	7
3.2.	IDROGEOLOGIA .....	9
3.3.	PROBLEMATICHE RISCONTRATE .....	9
<b>4.</b>	<b>MODELLAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>10</b>
4.1.	MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	10
<b>5.</b>	<b>SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE .....</b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE .....</b>	<b>10</b>
<b>7.</b>	<b>VERIFICHE DI SICUREZZA .....</b>	<b>11</b>
7.1.	CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE .....	12
7.2.	CARICO LIMITE PER I PALI .....	20
<b>8.</b>	<b>INTERAZIONE CINEMATICA PALO TERRENO .....</b>	<b>36</b>
<b>9.</b>	<b>CALCOLO DEI CEDIMENTI PALI .....</b>	<b>41</b>



## 1. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La presente relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del "*volume significativo*" per l'opera in esame e valuta l'interazione opera/terreno ai fini del dimensionamento delle relative fondazioni. Vengono riportate le viste assonometriche della modellazione delle fondazioni miste, composta da platea di dimensioni variabili, ossia le superfici circolari che ospitano i digestori ed i serbatoi di idrolisi avranno un'altezza in sezione pari a 90cm unita con la parte centrale della platea alla stessa quota, mentre la restante porzione della platea avrà un'altezza in sezione pari a 60cm. La dimensione in pianta dell'opera di fondazione è pressoché regolare e con dimensioni circa 70,00x37,00m. Tutti le caratteristiche sia geometriche che meccaniche sono meglio esplicitati negli elaborati grafici.

**Vista Anteriore**



*La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale 0,X,Y, Z, ha versore (1;1;-1)*

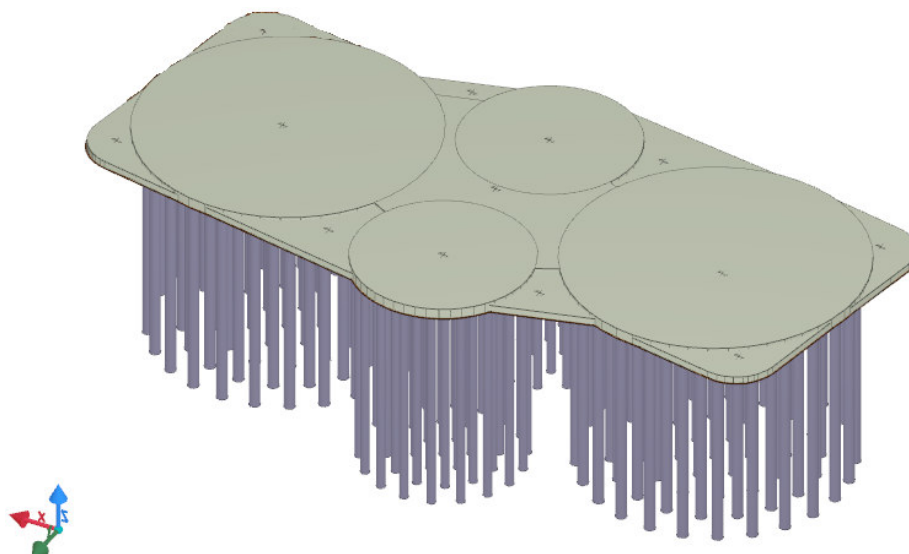
**Vista Posteriore**



**Città di Fermo**  
**Settore IV e V**  
Lavori Pubblici, Protezione  
Civile, Ambiente, Urbanistica,  
Patrimonio, Contratti e Appalti

PROGETTAZIONE ESECUTIVA "IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO  
DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA  
PRODUZIONE DI BIOMETANO"

**CIG: 9880245C18 CUP: F62F18000070004**



*La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale 0,X,Y, Z, ha versore  $(-1;-1;-1)$*

MANDATARIA

**EdilAlta**

MANDANTE

**Anaergia**  
Fueling a Sustainable World™

PROGETTISTA INDICATO

**OWAC**  
ENGINEERING COMPANY

**RELAZIONE GEOTECNICA  
PLATEA DIGESTORI**

REV. 01

Pag. 5 di 51



## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

**Legge 5 novembre 1971 n. 1086** (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

*"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".*

**Legge 2 febbraio 1974 n. 64** (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

*"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*

Indicazioni progettuali per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

**D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018** (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

*"Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni".*

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

**Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.** (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5)

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

**Eurocodice 7** - *"Progettazione geotecnica"* - EN 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2018 *"Norme Tecniche per le Costruzioni"*.



### 3. INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base di quanto dettagliato nella relazione geologica dell'area di sito, si è proceduto alla progettazione della campagna di indagini geognostiche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dal "volume significativo" dell'opera in esame.

#### 3.1. PROVE EFFETTUATE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Al fine della determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni coinvolti nel "volume significativo" dell'opera in esame, sono state condotte delle prove geotecniche, riassunte nella relazione geologica.

Le indagini realizzate hanno permesso di ricostruire le seguenti stratigrafie per ognuna delle quali sono state definite le proprietà geotecniche dei singoli terreni coinvolti.

### TERRENI

N <sub>TRN</sub>	$\gamma_T$	$\gamma_{Ts}$	K <sub>1</sub>			$\phi$	C <sub>u</sub>	C'	E <sub>d</sub>	E <sub>cu</sub>	A <sub>S-B</sub>	ST_P
			K <sub>1X</sub>	K <sub>1Y</sub>	K <sub>1Z</sub>							
	[N/m <sup>3</sup> ]	[N/m <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[°]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		
<b>Riporto trattato a calce</b>												
T001	19 400	20 400	60	60	34	40	0,000	0,010	171	0	0,000	NO
<b>Riporto trattato a calce_02</b>												
T002	19 400	20 400	1	1	1	40	0,000	0,010	171	0	0,000	NO
<b>Misto di cava</b>												
T003	14 000	15 000	60	60	300	30	0,030	0,000	206	9	0,125	NO
<b>Argilla stratificata e sabbia di formazione marina</b>												
T004	20 000	21 000	60	60	300	24	0,000	0,032	18	0	0,000	NO
<b>Limo argilloso sabbioso/Coltre</b>												
T005	19 000	20 000	60	60	300	23	0,000	0,006	8	0	0,000	NO

### LEGENDA:

<b>N<sub>TRN</sub></b>	Numero identificativo del terreno.
<b><math>\gamma_T</math></b>	Peso specifico del terreno.
<b><math>\gamma_{Ts}</math></b>	Peso specifico saturo del terreno.
<b>K<sub>1</sub></b>	Valori della costante di Winkler riferita alla piastra Standard di lato b = 30 cm nelle direzioni degli assi del riferimento globale X (K <sub>1X</sub> ), Y (K <sub>1Y</sub> ), e Z (K <sub>1Z</sub> ).
<b><math>\phi</math></b>	Angolo di attrito del terreno.
<b>C<sub>u</sub></b>	Coesione non drenata.
<b>C'</b>	Coesione efficace.
<b>E<sub>d</sub></b>	Modulo edometrico.
<b>E<sub>cu</sub></b>	Modulo elastico in condizione non drenate.
<b>A<sub>S-B</sub></b>	Parametro "A" di Skempton-Bjerrum per pressioni interstiziali.
<b>ST_P</b>	[SI]: Il terreno è usato nella valutazione delle spinte a tergo delle pareti/muri controterra; [NO]: Il terreno NON è usato nella valutazione delle spinte a tergo delle pareti/muri controterra.



## STRATIGRAFIE

						Stratigrafie
N <sub>TRN</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>f</sub>	Cmp. S.	Add		ΔEd
	[m]	[m]				
<b>[S003]-Stratigrafia Verticale 3</b>						
T003	0,00	-0,50	incoerente	sciolto		nulla
T001	-0,50	-2,00	coerente	denso		lineare
T004	-2,00	INF	incoerente	denso		nulla
<b>[S004]-Stratigrafia Verticale 1</b>						
T003	0,00	-0,50	incoerente	sciolto		nulla
T001	-0,50	-2,00	coerente	denso		lineare
T005	-2,00	-5,50	incoerente	denso		nulla
T004	-5,50	INF	incoerente	denso		nulla
<b>[S005]-Stratigrafia Verticale 2</b>						
T003	0,00	-0,50	incoerente	sciolto		nulla
T001	-0,50	-2,00	coerente	denso		lineare
T005	-2,00	-9,00	incoerente	denso		nulla
T004	-9,00	INF	incoerente	denso		nulla
<b>[S006]-Stratigrafia Verticale 4</b>						
T003	0,00	-0,50	incoerente	sciolto		nulla
T001	-0,50	-2,00	coerente	denso		lineare
T005	-2,00	-14,00	incoerente	denso		nulla
T004	-14,00	INF	incoerente	denso		nulla

## LEGENDA:

- N<sub>TRN</sub>** Numero identificativo della stratigrafia.  
**Q<sub>i</sub>** Quota iniziale dello strato (riferito alla quota iniziale della stratigrafia).  
**Q<sub>f</sub>** Quota finale dello strato (riferito alla quota iniziale della stratigrafia). INF = infinito (profondità dello strato finale).  
**Cmp. S.** Comportamento dello strato.  
**Add** Addensamento dello strato.  
**ΔEd** Variazione con la profondità del modulo edometrico.

**NB:** Nel caso di fondazioni dirette con stratigrafia, il calcolo del carico limite (q<sub>lim</sub>) viene fatto su un terreno "equivalente" con parametri geotecnici calcolati come media pesata degli strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità "significativa" (stabilita come "Multiplo della dimensione Significativa della fondazione").

$$\text{Parametro "J"} = \frac{\sum_{i=1}^n [\text{Parametro "J"} (\text{strato}, i) \cdot \text{Spessore} (\text{strato}, i)]}{\text{Profondità significativa}}$$

con i = 1,..., n (numero di strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità significativa).

La **profondità o altezza significativa** del volume di calcolo del terreno, usata nelle varie verifiche geotecniche svolte dal programma, come già precedentemente





accennato, è funzione del parametro *Multiplo della dimensione significativa della fondazione* ( $m_{df}$ ).

Per le fondazioni di tipo *travi continue* la profondità significativa  $h_{vs}$  del volume di calcolo è pari a:

$$h_{vs} = b \cdot m_{df};$$

dove  $b$  è la larghezza della fondazione.

Per le fondazioni di tipo a *platea o a plinti* la profondità significativa  $h_{vs}$  del volume di calcolo è pari a:

$$h_{vs} = d_m \cdot m_{df};$$

dove  $d_m$  è la media delle dimensioni della base di impronta della platea o del plinto.

Nella seguente tabella sono riportati i valori attribuibili al parametro  $m_{df}$  ed il valore predefinito proposto dal programma.

<b>Tipo di fondazione</b>	<b>Range di valori possibili di <math>m_{df}</math></b>	<b>Valore predefinito di <math>m_{df}</math></b>
Travi continue	[1; 3]	3
Platee e plinti	[1; 3]	2

---

### 3.2. IDROGEOLOGIA

Non è stata riscontrata la presenza di falde acquifere a profondità di interesse relativamente al "*volume significativo*" investigato.

---

### 3.3. PROBLEMATICHE RISCONTRATE

Durante l'esecuzione delle prove e dall'elaborazione dei dati non sono emerse problematiche rilevanti alla realizzazione delle opere di fondazione.



## 4. MODELLAZIONE GEOTECNICA

Tutti i parametri che caratterizzano i terreni di fondazione sono riportati nei successivi paragrafi.

### 4.1. MODELLAZIONE GEOTECNICA

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidezze offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state introdotte direttamente nel modello strutturale per tener conto dell'interazione opera/terreno.

Ai fini del calcolo del carico limite, è stato escluso il contributo da parte della platea di fondazione dove i pali si innestano; inoltre, è stato trascurato il contributo della resistenza laterale dei pali per il tratto in cui essi attraversano il limo argilloso.

## 5. SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

La tipologia delle opere di fondazione è consona alle caratteristiche meccaniche del terreno definite in base ai risultati delle indagini geognostiche.

Nel caso in esame, la struttura di fondazione è costituita da:

- fondazioni indirette.

## 6. SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

La tipologia delle opere di fondazione è consona alle caratteristiche meccaniche del terreno definite in base ai risultati delle indagini geognostiche.

Nel caso in esame, la struttura di fondazione è costituita da:

- fondazioni indirette di tipo a pali.



## 7. VERIFICHE DI SICUREZZA

Nelle verifiche allo stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

$E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

$R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'**Approccio 2** come definito al §2.6.1 del D.M. 2018, attraverso la combinazione **A1+M1+R3**. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella tabella 6.2.I del D.M. 2018.

**Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni** [cfr. D.M. 2018]

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	A1 (STR)	A2 (GEO)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella tabella 6.2.II del D.M. 2018.

**Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno** [cfr. D.M. 2018]

PARAMETRO GEOTECNICO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan\phi_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,00	1,00



I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.I del D.M. 2018 per le fondazioni superficiali.

**Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.**

Verifica	Coefficiente Parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Per le fondazioni su pali, i valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.II del D.M. 2018.

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito elencate le metodologie ed i modelli usati per il calcolo del carico limite ed i risultati di tale calcolo.

#### 7.1. CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE

La formula del carico limite esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno. Il carico limite è dato dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \Psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \Psi_q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$

in cui:

$c$  = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$q = \gamma \cdot D$  = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;

$\gamma$  = peso unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione;

$D$  = profondità del piano di posa della fondazione;

$B'$  = larghezza ridotta della suola di fondazione (vedi **NB**);

$L$  = lunghezza della fondazione;

$\gamma_f$  = peso unità di volume del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$N_c, N_q, N_\gamma$  = fattori di capacità portante;

$s, d, i, g, b, \psi, r$  = coefficienti correttivi.



**NB:** Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

$$B' = B - 2 \cdot e_B$$

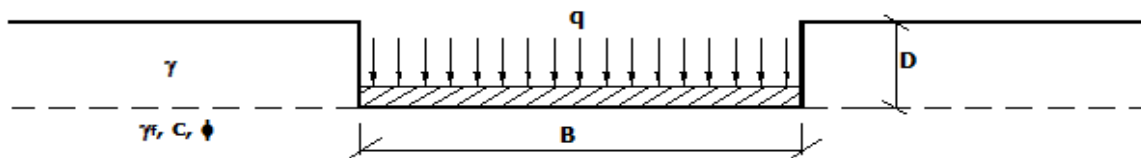
$e_B$  = eccentricità parallela al lato di dimensione B;

$$L' = L - 2 \cdot e_L$$

$e_L$  = eccentricità parallela al lato di dimensione L;

con  $B' \leq L'$ .

dove:



### Calcolo dei fattori $N_c$ , $N_q$ , $N_\gamma$

Terreni puramente coesivi ( $c \neq 0$ , $\phi = 0$ )	Terreni dotati di attrito e coesione ( $c \neq 0$ , $\phi \neq 0$ )
$N_c = 2 + \pi$	$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$
$N_q = 1$	$N_q = K_p \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi}$
$N_\gamma = 0$ se $\omega = 0$ $N_\gamma = -2 \cdot \sin \omega$ se $\omega \neq 0$	$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi$

dove:

$k_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$  è il coefficiente di spinta passiva di Rankine;

$\phi$  = angolo di attrito del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$\omega$  = angolo di inclinazione del piano campagna.

### Calcolo dei fattori di forma $s_c$ , $s_q$ , $s_\gamma$

Terreni puramente coesivi ( $c \neq 0$ , $\phi = 0$ )	Terreni dotati di attrito e coesione ( $c \neq 0$ , $\phi \neq 0$ )
$s_c = 1 + \frac{B'}{(2 + \pi) \cdot L'}$	$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$
$s_q = 1$	$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi$
$s_\gamma = 1 - 0.40 \cdot \frac{B'}{L'}$	$s_\gamma = 1 - 0.40 \cdot \frac{B'}{L'}$

con  $B'/L' < 1$ .

### Calcolo dei fattori di profondità del piano di posa $d_c$ , $d_q$ , $d_\gamma$

Si definisce il seguente parametro:



$$K = \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} \leq 1 ;$$

$$K = \arctg\left(\frac{D}{B'}\right) \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} > 1 .$$

<b>Terreni puramente coesivi</b> ( $c \neq 0, \phi = 0$ )	<b>Terreni dotati di attrito e coesione</b> ( $c \neq 0, \phi \neq 0$ )
$d_c = 1 + 0,4 \cdot K$	$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$d_q = 1$	$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot K$
$d_\gamma = 1$	$d_\gamma = 1$

### Calcolo dei fattori di inclinazione del carico $i_c, i_q, i_\gamma$

Si definisce il seguente parametro:

$$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad \text{se la forza H è parallela alla direzione trasversale della fondazione}$$

$$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad \text{se la forza H è parallela alla direzione longitudinale della fondazione}$$

$$m = m_\theta = m_L \cdot \cos^2 \theta + m_B \cdot \sin^2 \theta \quad \text{se la forza H forma un angolo } \theta \text{ con la direzione longitudinale della fondazione}$$

<b>Terreni coesivi</b> ( $c \neq 0, \phi = 0$ )	<b>Terreni incoerenti</b> ( $c = 0, \phi \neq 0$ )	<b>Terreni dotati di attrito e coesione</b> ( $c \neq 0, \phi \neq 0$ )
$i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{c \cdot N_c \cdot B \cdot L}$	$i_c = 0$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$i_q = 1$	$i_q = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^m$	$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi}\right)^m$
$i_\gamma = 0$	$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^{m+1}$	$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi}\right)^{m+1}$

dove:

H = componente orizzontale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione;  
 V = componente verticale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione.

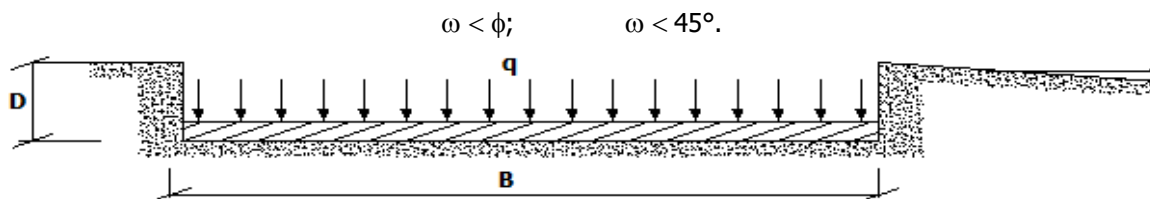
### Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di campagna $b_c, b_q, b_\gamma$

Indicando con  $\omega$  la pendenza del piano campagna, si ha:

<b>Terreni puramente coesivi</b> ( $c \neq 0, \phi = 0$ )	<b>Terreni dotati di attrito e coesione</b> ( $c \neq 0, \phi \neq 0$ )
$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \omega}{(2 + \pi)}$	$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$	$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$
$b_\gamma = b_q / \cos \omega$	$b_\gamma = b_q / \cos \omega$



Per poter applicare tali coefficienti correttivi deve essere verificata la seguente condizione:



### Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di posa $g_c$ , $g_q$ , $g_\gamma$

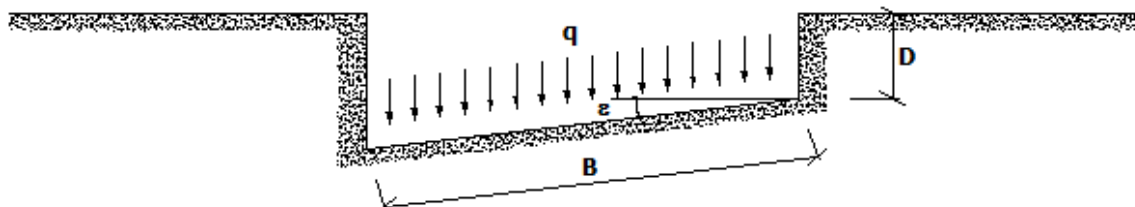
Indicando con  $\varepsilon$  la pendenza del piano di posa della fondazione, si ha:

Terreni puramente coesivi ( $c \neq 0$ , $\phi = 0$ )	Terreni dotati di attrito e coesione ( $c \neq 0$ , $\phi \neq 0$ )
$g_c = 1 - \frac{2 \cdot \varepsilon}{(2 + \pi)}$	$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$g_q = 1$	$g_q = (1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$
$g_\gamma = 1$	$g_\gamma = g_q$



Per poter applicare tali coefficienti correttivi deve essere verificata la seguente condizione:

$$\varepsilon < 45^\circ$$



### Calcolo dei fattori di riduzione per rottura a punzonamento $\psi_c, \psi_q, \psi_\gamma$

Si definisce l'*indice di rigidità* del terreno come:

$$I_r = \frac{G}{c + \sigma \cdot \tan \phi}$$

dove:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \text{modulo d'elasticità tangenziale del terreno};$$

$E$  = modulo elastico del terreno (nei calcoli è utilizzato il modulo edometrico);

$\nu$  = modulo di Poisson. Sia in condizioni non drenate che drenate è assunto pari a 0,5 (a vantaggio di sicurezza);

$\sigma$  = tensione litostatica alla profondità  $D+B/2$ .

La rottura a punzonamento si verifica quando i coefficienti di punzonamento  $\psi_c, \psi_q, \psi_\gamma$  sono inferiori all'unità; ciò accade quando l'indice di rigidità  $I_r$  si mantiene inferiore al valore critico:

$$I_r < I_{r,crit} = \frac{1}{2} \cdot e^{\left[ \left( 3,3 - 0,45 \frac{B}{L} \right) \cdot \cot \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right]}$$

Terreni puramente coesivi ( $c \neq 0, \phi = 0$ )	Terreni dotati di attrito e coesione ( $c \neq 0, \phi \neq 0$ )
$\psi_c = 0,32 + 0,12 \cdot \frac{B'}{L'} + 0,6 \cdot \text{Log}(I_r)$	$\psi_c = \psi_q - \frac{1 - \psi_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$\psi_q = 1$	$\psi_q = e^{\left\{ \left( 0,6 \frac{B'}{L'} - 4,4 \right) \cdot \tan \phi + \frac{3,07 \cdot \sin \phi \cdot \text{Log}(2 \cdot I_r)}{1 + \sin \phi} \right\}}$
$\psi_\gamma = 1$	$\psi_\gamma = \psi_q$





### Correzione per fondazione tipo piastra

Bowles, al fine di limitare il contributo del termine " $B \cdot N_\gamma$ ", che per valori elevati di  $B$  porterebbe ad ottenere valori del carico limite prossimi a quelli di una fondazione profonda, propone il seguente fattore di riduzione  $r_\gamma$ :

$$r_\gamma = 1 - 0,25 \cdot \text{Log}(B/2) \quad \text{con } B \geq 2 \text{ m}$$

Nella tabella sottostante sono riportati una serie di valori del coefficiente  $r_\gamma$  al variare della larghezza dell'elemento di fondazione.

<b>B [m]</b>	2	2.5	3	3.5	4	5	10	20	100
<b><math>r_\gamma</math></b>	1,00	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,82	0,75	0,57

Questo coefficiente assume particolare importanza per fondazioni larghe con rapporto  $D/B$  basso, caso nel quale il termine " $B \cdot N_\gamma$ " è predominante.

### Calcolo del carico limite in condizioni non drenate

L'espressione generale del carico limite, valutato in termini di *tensioni totale*, diventa:

$$q_{lim} = c_u \cdot (2 + \pi) \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_{sat} \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot r_\gamma$$

dove:

$c_u$  = coesione non drenata;

$\gamma_{sat}$  = peso unità di volume del terreno in condizioni di saturazione.

**N.B:** Nel calcolo in condizioni non drenate (situazione molto rara per un terreno incoerente) si assume, sempre e comunque, che l'angolo di attrito  $\phi$  sia nullo ( $\phi = 0$ ).

### Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa relativa alla verifica dello stato limite di collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno.

Si precisa che il valore relativo alla colonna  $Q_{d,Rd}$ , di cui nella tabella seguente, è da intendersi come il valore di progetto della resistenza  $R_d$ , ossia il rapporto fra il carico limite  $q_{lim}$  (calcolato come sopra esposto) ed il valore del coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  relativo alla capacità portante del complesso terreno-fondazione, in relazione all'approccio



utilizzato. Nel caso in esame il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  è stato assunto pari a 2,3 (tabella 6.4.I del D.M. 2018).

Si precisa che, nella sottostante tabella:

- la coppia  $Q_{Ed}$  e  $Q_{d,Rd}$  è relativa alla combinazione di carico, fra tutte quelle esaminate, che da luogo al minimo coefficiente di sicurezza (CS);
- nelle colonne "**per  $N_q$** ", "**per  $N_c$** " e "**per  $N_\gamma$** ", relative ai "**Coef. Cor. Terzaghi**", viene riportato il prodotto tra i vari coefficienti correttivi presenti nell'espressione generale del carico limite. Ad esempio si è posto:

Coef. Cor. Terzaghi per $N_q$ =	$s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_q \cdot Z_q$
Coef. Cor. Terzaghi per $N_c$ =	$s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_c \cdot Z_c$
Coef. Cor. Terzaghi per $N_\gamma$ =	$s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \psi_\gamma \cdot r_\gamma \cdot Z_\gamma \cdot C_\gamma$



## VERIFICHE CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE (involuppo SLU e SLV)

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU (involuppo SLU e SLV)

Id <sub>Fnd</sub>	CS	L <sub>x</sub>	L <sub>y</sub>	R <sub>tz</sub>	Z <sub>p.cmp</sub>	Z <sub>Fid</sub>	Cmp T	C. Terzaghi						Q <sub>Ed</sub>	Q <sub>Rd</sub>	R <sub>f</sub>
								per N <sub>q</sub>	per N <sub>c</sub>	per N <sub>γ</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>γ</sub>			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Platea 5	NS	21,53	19,62	84,00	1,05	-	NON Coesivo	1,77	1,78	0,47	64,20	75,31	109,41	0,006	5,846	NO
Platea 6	NS	17,16	7,04	144,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	2,170	NO
Platea 7	NS	17,88	7,18	52,10	0,75	-	NON Coesivo	1,10	1,11	0,50	64,20	75,31	109,41	0,004	2,454	NO
Platea 8	NS	18,35	10,00	8,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	2,170	NO
Platea 9	NS	9,33	6,20	164,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,010	2,170	NO
Platea 10	NS	16,09	9,11	10,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,007	2,170	NO
Platea 11	NS	9,91	2,76	164,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,013	2,170	NO
Platea 12	NS	18,61	7,74	147,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	2,170	NO
Platea 13	NS	16,89	6,77	54,71	0,75	-	NON Coesivo	1,06	1,06	0,46	64,20	75,31	109,41	0,004	2,218	NO

### LEGENDA:

<b>Id<sub>Fnd</sub></b>	Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
<b>CS</b>	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se CS ≥ 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
<b>L<sub>x/y</sub></b>	Dimensioni dell'elemento di fondazione.
<b>R<sub>tz</sub></b>	Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.
<b>Z<sub>p.cmp</sub></b>	Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
<b>Z<sub>Fid</sub></b>	Profondità della falda dal piano campagna.
<b>Cmp T</b>	Classificazione del comportamento del terreno ai fini del calcolo.
<b>C.</b>	Coefficienti correttivi per la formula di Terzaghi.
<b>Terzaghi</b>	
<b>Q<sub>Ed</sub></b>	Carico di progetto sul terreno.
<b>Q<sub>Rd</sub></b>	Resistenza di progetto del terreno.
<b>R<sub>f</sub></b>	[SI] = elemento con presenza di rinforzo; [NO] = elemento senza rinforzo.

*Osservazione: "Il calcolo del carico limite della platea è stato condotto tenendo conto della condizione in cui la fondazione superficiale sostenga esclusivamente il proprio peso".*



## 7.2. CARICO LIMITE PER I PALI

### Calcolo del carico limite verticale in compressione

Per il calcolo del carico limite verticale viene adottato il metodo dell'equilibrio limite in base al quale il carico limite verticale  $q_{lim}$  è dato dalla somma della resistenza laterale  $P_l$  e della resistenza alla punta  $P_p$ :

$$q_{lim} = P_p + P_l$$

Stimando il carico limite sia in condizione drenate che non drenate è fondamentale nella stratigrafia il comportamento del singolo strato (coerente/incoerente).

In particolare se uno strato è stato dichiarato incoerente il suo contributo al carico limite viene sempre valutato in condizioni drenate a prescindere dal metodo di calcolo richiesto (drenato/non drenato).

La **resistenza alla punta ( $P_p$ )** si calcola con la seguente formula:

$$P_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot (c \cdot N_c + q \cdot N_q)$$

dove:

- per la determinazione dei valori di  $N_q$  vengono usati i grafici di Berezantzev  $N_q = N_q(L/D; \phi)$  in cui  $L$  è la lunghezza del palo,  $D$  è il diametro e  $\phi$  è l'angolo di attrito;
- $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$ ;
- $c$  è la coesione;

$q$  è la pressione litostatica alla punta del palo.

Nel calcolo della resistenza alla punta si fa distinzione tra condizioni drenate e non drenate. In caso di condizioni:

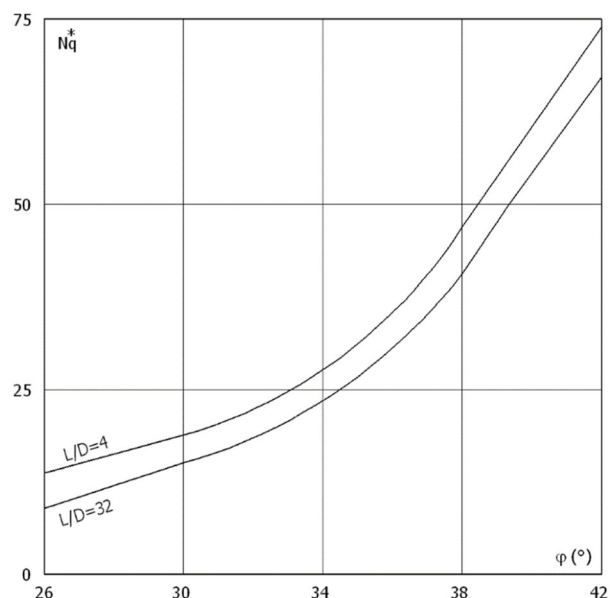
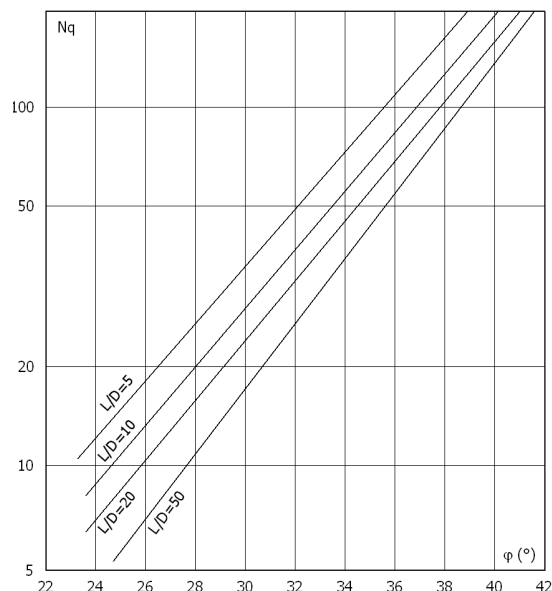
- **drenate** si assume  $c = c'$  (coesione efficace) e  $q$  calcolata per pressioni effettive.
- **non drenate** si assume  $q = q_{tot}$  (pressione totale),  $c = c_u$  (coesione non drenata),  $\phi = 0$  e  $N_c = 9$ .

Se lo strato in cui arriva il palo è stato dichiarato coerente la stima della resistenza alla punta viene fatta in condizioni drenate o non drenate a seconda del metodo di calcolo



richiesto. Viceversa, se lo strato in cui arriva il palo è stato dichiarato incoerente la stima della resistenza alla punta viene fatta sempre in condizioni drenate indipendentemente dal tipo di calcolo richiesto (drenato o non drenato).

Vengono distinti i casi di pali di medio diametro e di grande diametro (> 80 cm). Per questi ultimi, visto che la resistenza alla punta viene mobilitata dopo un cedimento che può essere anche significativo, si utilizza un valore di  $N_q^*$  ridotto rispetto a  $N_q$ .



Per il calcolo della **resistenza laterale ( $P_l$ )** si usa invece la formula:

$$P_l = \pi \cdot D \cdot L \cdot s,$$

in cui **s** è la somma di un termine di adesione **a** indipendente dalla tensione normale (orizzontale  $\sigma_h$ ) e da un termine attritivo dipendente da quest'ultima e dalla tecnologia con cui viene realizzato il palo (battuto, trivellato, ...):

$$s = a + \sigma_h \cdot \mu,$$

con  $\mu$  dipendente dalla scabrezza dell'interfaccia palo/terreno.

Anche per il calcolo della resistenza laterale si distingue tra condizioni drenate e non drenate. In **condizioni drenate** si assume  $a = 0$ , pertanto,  $s = \sigma_h \cdot \mu$  [con  $\mu = \tan(\phi \cdot A)$ , dove  $A$  è il coefficiente riduttivo relativo all'attrito palo-terreno]. In **condizioni non drenate** si assume che l'adesione sia un'aliquota della coesione non drenata, per cui  $a = \alpha \cdot c_u$  con  $\alpha$  dipendente dalla tecnologia esecutiva del palo stesso.

In caso di terreni stratificati la resistenza laterale è la somma delle resistenze offerte dai singoli strati, calcolate a seconda della tipologia del terreno (coerente/incoerente).



Pertanto, il calcolo del palo in condizioni non drenate, per gli strati coerenti il contributo alla portanza laterale del singolo strato viene stimato in funzione della coesione non drenata, mentre per gli strati incoerenti in funzione dell'attrito.

Invece, richiesto un calcolo del palo in condizioni drenate, sia per gli strati coerenti che per quelli incoerenti il contributo alla portanza laterale del singolo strato viene stimato in funzione dell'attrito.

### Calcolo del carico limite verticale in trazione

Nel caso di pali sollecitati a trazione, la resistenza allo sfilamento (T) viene calcolata con le formulazioni di Das-Seeley (per terreni coesivi), oppure Das-Rozendal (per terreni incoerenti):

$$T = T_L + T_B + W$$

dove:

- $T_L$  = resistenza allo sfilamento lungo il fusto;
- $T_B$  = resistenza allo sfilamento dovuto allo svasamento della base;
- $W$  = peso del palo.

Nel caso di *stratigrafie* di terreni, viene calcolato il contributo di ogni strato interessato dal palo, sia esso coesivo o incoerente. In caso di alternanza di terreni sciolti e terreni densi verrà fatta una media pesata della densità relativa di ogni strato.

Nel caso sia presente una *falda*, si procede nel seguente modo:

- *per terreni coesivi*: all'aumentare del livello della falda si ha un incremento dello sforzo normale di trazione dovuto alla sotto-spinta idrostatica (o effetto di *galleggiamento*) del palo immerso in acqua. La resistenza dovuta alla coesione invece, non risente di alcun effetto;
- *per terreni incoerenti*: all'aumentare del livello della falda, oltre ad avere un incremento dello sforzo normale di trazione dovuto alla sotto-spinta idrostatica, si ha anche una diminuzione della resistenza dovuta ad una minore pressione efficace lungo il fusto del palo, e di conseguenza una minore resistenza all'attrito.

Gli effetti delle *condizioni drenate oppure non drenate* dei terreni sono considerati nel seguente modo:

- *per terreni coesivi*: si considera il contributo della coesione non drenata in condizioni non drenate, mentre si considera il contributo dell'eventuale attrito in condizioni drenate;



- *per terreni incoerenti*: sono considerati sempre in condizioni drenate, quindi, ai fini della verifica a sfilamento, in condizioni drenate si fa riferimento solo al contributo dell'attrito, anche se il terreno ha una componente coesiva.

Infine, qualora i pali abbiano un comportamento di gruppo (es. plinti su pali), per terreni coesivi, viene applicata una riduzione della resistenza, dovuta all'effetto di gruppo dei pali, tramite un coefficiente tabellare che dipende dalla forma (es. quadrata, rettangolare, ecc..) e dal numero di pali. Maggiore sarà il numero di pali e maggiore sarà la riduzione (cfr. De Simone).

N° Pali	Forma	Coefficiente
1	Quadrato	1
2	Rettangolare	0,94
3	Triangolare	0,87
4	Triangolare	0,83
4	Quadrato	0,82
5	Quadrato	0,8
5	Pentagono	0,82
6	Rettangolare	0,77
6	Pentagono	0,78
6	Esagonale	0,8
7	Esagonale	0,75
8	Quadrato	0,75
9	Quadrato	0,72

### **Calcolo del Carico Limite Orizzontale per terreni monostrato**

Per la valutazione del carico limite orizzontale si è fatto riferimento alla teoria di Broms e al caso di pali supposti vincolati in testa (rotazione impedita).

Le ipotesi assunte da *Broms* sono le seguenti:

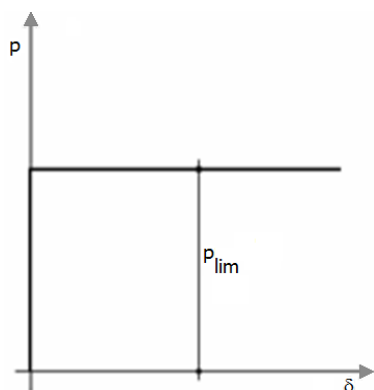
- comportamento dell'interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico, cioè la resistenza del terreno si mobilita interamente per un qualsiasi valore non nullo dello spostamento e resta poi costante al crescere dello spostamento;
- forma del palo ininfluenza rispetto al carico limite orizzontale il quale risulta influenzato



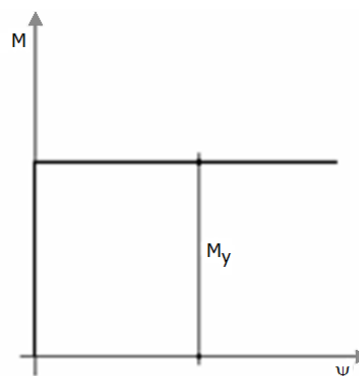


solo dal diametro del palo stesso;

- in presenza di forze orizzontali la resistenza della sezione strutturale del palo può essere chiamata in causa poiché il regime di sollecitazione di flessione e taglio che consegue all'applicazione di forze orizzontali è molto più gravoso dello sforzo normale che consegue all'applicazione di carichi verticali;
- anche il comportamento flessionale del palo è assunto di tipo rigido-perfettamente plastico, cioè le rotazioni plastiche del palo sono trascurabili finché il momento flettente non attinge al valore  $M_{plast}$  ovvero Momento di plasticizzazione. A questo punto nella sezione si forma una cerniera plastica ovvero la rotazione continua indefinitamente sotto momento costante.



Comportamento palo-terreno



Comportamento flessionale del palo



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;
- il carico orizzontale necessario per produrre la plasticizzazione del palo.

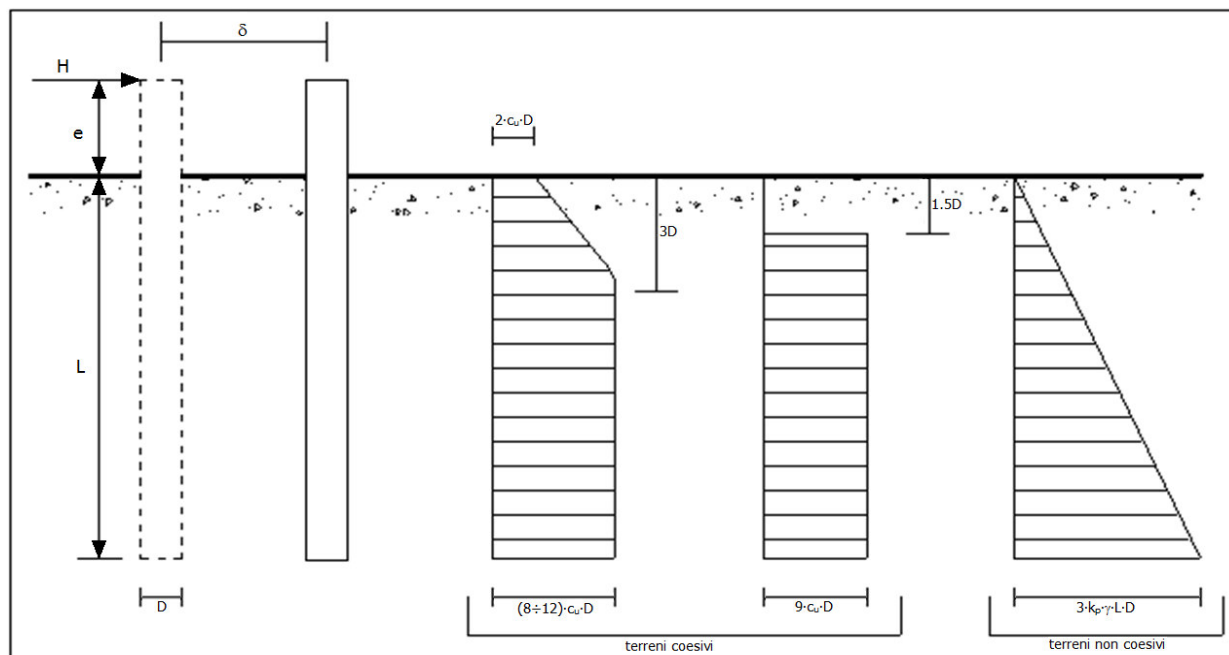
Il primo meccanismo (plasticizzazione del terreno) si verifica nel caso di pali molto rigidi in terreni poco resistenti (meccanismo di palo corto).

Mentre, il secondo meccanismo si verifica nel caso di pali aventi rigidezze non eccessive rispetto al terreno d'infissione (meccanismo di palo lungo o intermedio, con la formazione rispettivamente di due ed una cerniera plastica).

La resistenza limite del terreno rappresenta il valore limite di resistenza che esso può esprimere quando il palo è soggetto ad un carico orizzontale e dipende dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria del palo.

Per quanto riguarda la resistenza del terreno, secondo la teoria di Broms, si considerano separatamente i casi di:

- terreni **coesivi** o **coerenti** (rottura non drenata);
- terreni **non coesivi** o **incoerenti** (rottura drenata).



Andamento della resistenza del terreno, secondo la teoria di Broms



Quindi, nella fase di calcolo, occorre verificare se il meccanismo di rottura del palo è per:

- **Palo corto**  $\Rightarrow$  (plasticizzazione terreno)
- **Palo intermedio**  $\Rightarrow$  (plasticizzazione palo)
- **Palo lungo**

Nel caso di *terreni non coesivi* ( $c=0$ ), la teoria di **Broms** assume che la resistenza laterale sia variabile linearmente con la profondità dal valore  $p = 0$  (in testa) fino al valore  $p = 3 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot L \cdot D$  (alla base), essendo  $K_p$  il coefficiente di resistenza passiva. Nel calcolo della resistenza laterale si tiene conto dell'eventuale interrimento della testa del palo rispetto al piano campagna, il che comporta che la pressione litostatica in testa al palo sia non nulla. Inoltre, un ulteriore settaggio, presente nelle preferenze del software, consente di trascurare o meno la presenza della falda nella valutazione della pressione litostatica.

Per quanto riguarda i *terreni coesivi* la resistenza laterale parte in testa al palo con un valore di  $p = 2 \cdot c_u \cdot D$ , cresce linearmente fino alla profondità  $3D$  per poi rimanere costante e pari a  $p = (8 \div 12) \cdot c_u \cdot D$  per tutta la lunghezza del palo. In alternativa, è possibile utilizzare un diagramma semplificato, di valore  $p = 0$  fino alla profondità  $1,5 \cdot D$  e con valore costante e pari a  $9 \cdot c_u \cdot D$  per tutta la lunghezza del palo.

Oltre ai parametri meccanici del terreno viene considerato anche il Momento Ultimo  $M_p$  del palo che è funzione oltre che dell'armatura anche dello sforzo assiale agente. Se il comportamento è a palo lungo viene calcolata anche la profondità di formazione della seconda cerniera plastica.

### **Calcolo del Carico Limite Orizzontale per terreni stratificati**

La teoria di *Broms* è formulata per terreni omogenei, di tipo coerente o incoerente; in caso di terreni stratificati, la teoria di Broms viene generalizzata formulando le seguenti ipotesi aggiuntive, rispetto al caso del terreno monostrato:

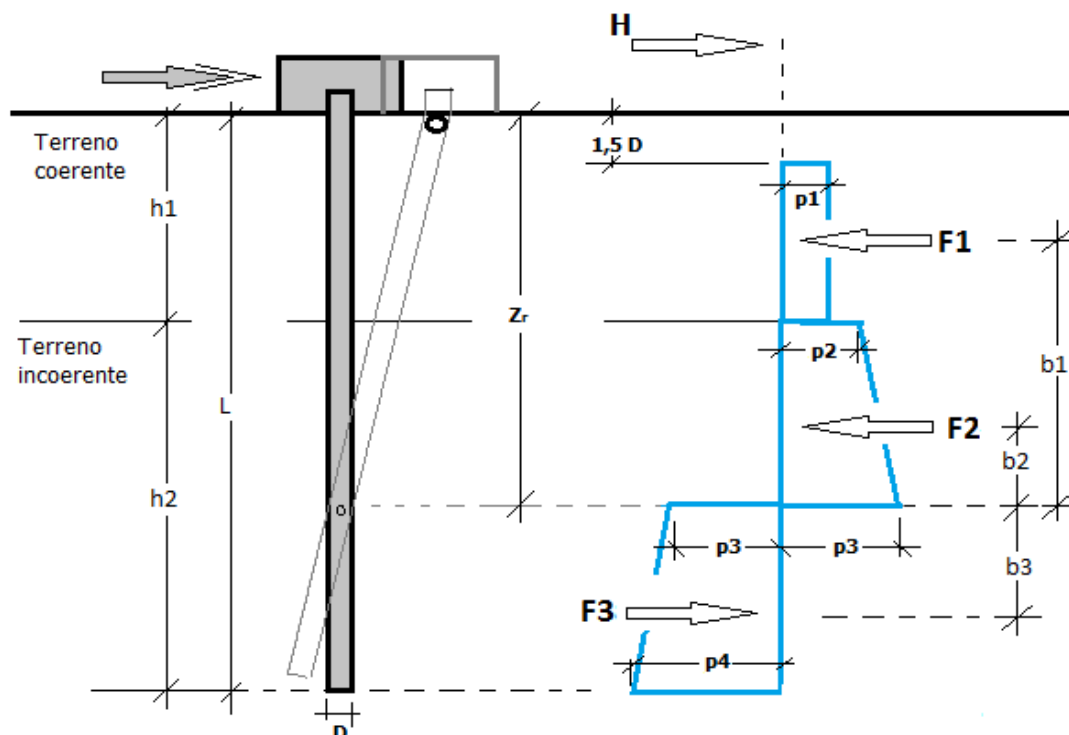
- **terreno coerente:** la resistenza laterale per unità di superficie  $p_i$  viene considerata costante, secondo l'ipotesi di Broms, a partire da una profondità pari ad  $1,5 \cdot D$ , ritenendo nulla la reazione per strati di altezza inferiore a  $1,5 \cdot D$ . La resistenza  $p_i$  è indipendente dalla pressione litostatica.



- **terreno incoerente:** la resistenza laterale per unità di superficie  $p_i$  varia con legge lineare lungo l'altezza, secondo l'ipotesi di Broms. La resistenza  $p_i$  è dipendente dalla pressione litostatica  $\gamma \cdot z$ , per cui nel calcolo di tali resistenze si tiene conto del peso degli eventuali strati sovrastanti. Un ulteriore settaggio, presente nelle preferenze del software, consente di trascurare o meno la presenza della falda nella valutazione della pressione litostatica.



Per un terreno di due strati lo schema considerato è il seguente:



Nella fase di calcolo, si verifica se il meccanismo di rottura del palo, ipotizzato vincolato in testa (rotazione alla testa impedita) sia di:

– **Palo CORTO**

Si valuta il diagramma dei momenti, ipotizzando che il palo non subisca plasticizzazioni. Sotto l'azione della forza H il palo subisce una traslazione rigida.

Nell'ipotesi di cui in figura seguente, le resistenze laterali valgono:

$$p_1 = 9 \cdot c_u \cdot D;$$

$$p_2 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot \gamma_1 \cdot h_1;$$

$$p_3 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2).$$

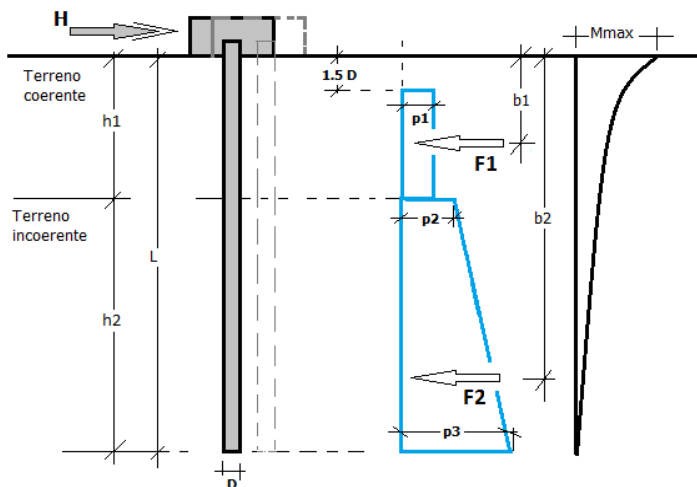
Da cui:

$$F_1 = p_1 \cdot (h_1 - 1,5 \cdot D);$$

$$F_2 = (p_1 + p_2) \cdot h_2 / 2.$$



Indicando con  $M_p$  il momento resistente del palo, se risulta  $M_{\max} = F_1 \cdot b_1 + F_2 \cdot b_2 < M_p$  l'ipotesi di palo corto è soddisfatta, altrimenti occorre procedere con l'ipotesi di palo intermedio.





### – **Palo INTERMEDIO**

Si valuta il diagramma dei momenti, ipotizzando che il palo subisca una plasticizzazione all'attacco con la fondazione e che al piede sia presente un vincolo alla traslazione orizzontale. Sotto l'azione della forza  $H$  il palo subisce una traslazione ed una rotazione rigida.

Nell'ipotesi di cui in figura seguente, le resistenze laterali valgono:

$$p_1 = 9 \cdot c_u \cdot D;$$

$$p_2 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot \gamma_1 \cdot h_1;$$

$$p_3 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2).$$

Da cui:

$$F_1 = p_1 \cdot (h_1 - 1,5 \cdot D);$$

$$F_2 = (p_1 + p_2) \cdot h_2 / 2.$$

Applicando l'equilibrio alla  
rotazione intorno al piede del  
palo:

$$M_p + F_1 \cdot b_1 + F_2 \cdot b_2 - H \cdot L = 0$$

si determina il valore dell'azione

$H$  che sollecita il palo.

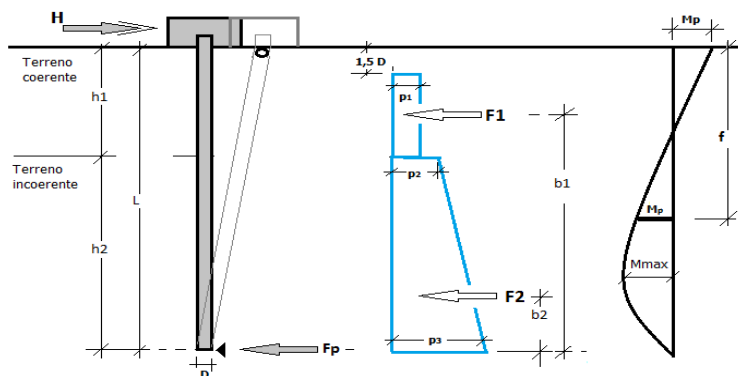
Una volta note tutte le forze in gioco, si determina il diagramma del momento lungo il fusto del palo.

Indicando con  $M_p$  il momento resistente del palo, se risulta  $M_{\max} < M_p$  l'ipotesi di palo intermedio è soddisfatta, altrimenti occorre procedere con l'ipotesi di palo lungo.

### – **Palo LUNGO**

Si valuta il diagramma dei momenti, ipotizzando che il palo subisca una plasticizzazione all'attacco con la fondazione e lungo il fusto. Sotto l'azione della forza  $H$  il palo subisce una traslazione ed una rotazione rigida.

Nell'ipotesi di cui in figura seguente, le resistenze laterali valgono:







$$p_1 = 9 \cdot c_u \cdot D;$$

$$p_2 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot \gamma_1 \cdot h_1;$$

$$p_3 = 3 \cdot k_{p,2} \cdot D \cdot (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2).$$

Da cui:

$$F_1 = p_1 \cdot (h_1 - 1,5 \cdot D);$$

$$F_2 = (p_1 + p_2) \cdot h_2 / 2.$$

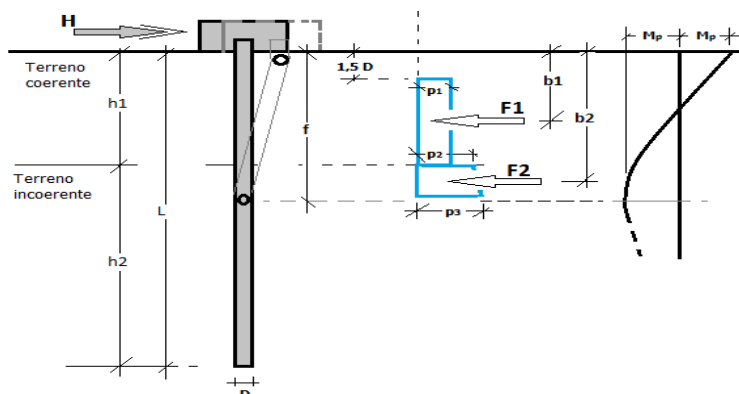
Applicando l'equilibrio alla  
 traslazione si ha:

$$H = F_1 + F_2$$

Imponendo l'equilibrio alla  
 rotazione intorno alla seconda  
 cerniera plastica:

$$H \cdot f - F_1 \cdot (f - b_1) - F_2 \cdot (f - b_2) - 2M_p = 0$$

si determina la profondità  $f$  della  
 seconda cerniera plastica.





### Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa relativa alle verifiche delle fondazioni su pali eseguite per i seguenti stati limite:

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali.

Si precisa che i valori relativi alle colonne  $Q_{Rd}$ , di cui nella tabella relativa alle verifiche, sono da intendersi come il valore di progetto della resistenza  $R_d$  ossia il rapporto fra il carico limite  $q_{lim}$  (calcolato come sopra esposto) ed il valore del coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$ , relativo all'approccio utilizzato.

**Tabella 6.4.II - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali (cfr. D.M. 2018)**

Resistenza	Simbolo	infissi	trivellati	ad elica continua
	$\gamma_R$	R3	R3	R3
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,30
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,25	1,25

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

Il coefficiente  $\gamma_R$  da applicare alla resistenza dei pali soggetti a *carichi trasversali* è assunto pari a 1,30 (cfr. tabella 6.4.VI D.M. 2018).

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedono l'utilizzo dei parametri geotecnici, il valore caratteristico della resistenza  $R_k$  è dato dal valore ottenuto applicando alle resistenze calcolate  $R_{cal}$  i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella tabella 6.4.IV, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine:

$$R_k = R_{cal} / \xi_3.$$

**Tabella 6.4.IV - Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate (cfr. D.M. 2018).**

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



Si precisa che, nella sottostante tabella, la coppia  $Q_{Ed,V} - Q_{Rd,V}$  e  $Q_{Ed,O} - Q_{Rd,O}$  è relativa alla combinazione di carico, fra tutte quelle esaminate, che dà luogo al minimo coefficiente di sicurezza (CS).

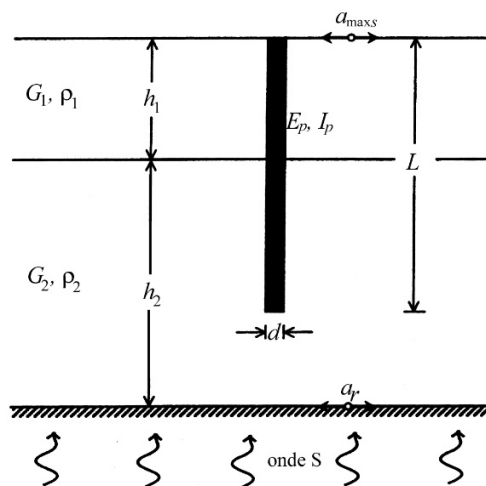
**N.B:** il valore del  $Q_{Ed,V}$  rappresenta l'azione agente sulla testa del palo a cui si sottrae la differenza fra il peso del palo ed quello del volume di terreno occupato dal palo.





## 8. INTERAZIONE CINEMATICA PALO TERRENO

Ai sensi del C7.11.5.3.2 delle NTC 2018, è stato valutato l'effetto degli effetti flessionali prodotti dall'interazione cinematica tra il palo e il terreno, tenendo conto dei livelli di deformazioni prodotti dalle onde sismiche che attraversano il mezzo. La valutazione è stata condotta con il metodo di Nikolaou:



Dalla letteratura sull'interazione cinematica

In condizioni di **moto stazionario** con frequenza prossima alla frequenza fondamentale del deposito, per  $h_1 > L_a$ , il momento flettente massimo nel palo può essere stimato con la seguente equazione:

$$M \cong 0,042 \tau_c d^3 (L/d)^{0.30} (E_p/E_1)^{0.65} (V_{s2}/V_{s1})^{0.50}$$

in cui:

$\tau_c \cong a_{max,s} \rho_1 h_1$  tensione di taglio all'interfaccia fra gli strati

Il momento flettente massimo nel palo in condizioni sismiche vale:

$$M_{max} \cong \delta M$$

in cui:

$\delta = 0.04 N_c + 0.23$  se il periodo naturale del deposito è prossimo al periodo predominante dell'eccitazione sismica

$\delta = 0.015 N_c + 0.17$  se il periodo naturale del deposito è molto diverso dal periodo predominante dell'eccitazione sismica

$N_c$  = numero dei cicli effettivi dell'accelerogramma



Pertanto si ottengono i seguenti risultati per le 4 stratigrafie in esame:

**PALI D= 1 METRO, L=20M**

STR_1		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mcinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	1									
1,50	Riporto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	1	180	2,46	35,88						
3,60	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	5,60	19	20	1	180	2,46	283,56	1,00	489,70	0,04	8,00	0,29	142,01
30,00	Argilla stratificata e sabbia di formazione marina	47,50	314472	0,440496	35,60	20	20	1	650	2,46	304,49	1,90	2.945,21	0,12	8,00	0,29	854,11

STR_2		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mcinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	1									
1,50	Riporto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	1	180	2,46							
7,50	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	9,50	19	20	1	360	2,46	378,7	1,41	924,90	0,04	8,00	0,29	268,22
30,00	Argilla stratificata e sabbia di formazione marina	47,50	314472	0,440496	39,50	20	20	1	650	2,46	378,7	1,34	4.393,94	0,11	8,00	0,29	1274,24

STR_3		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mcinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	1									
1,50	Riporto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	1	180	2,46							
30,00	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	32,00	19	20	1	650	2,46	520,82	1,90	1.709,20	0,04	8,00	0,29	495,67

STR_4		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mcinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	1									
1,50	Riporto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	1	180	2,46	520,82						
9,50	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	11,50	19	20	1	360	2,46	378,7	1,41	924,90	0,04	8,00	0,29	268,22
30,00	Argilla stratificata e sabbia di formazione marina	47,50	314472	0,440496	41,50	20	20	1	650	2,46	378,7	1,34	5.318,99	0,13	8,00	0,29	1542,51



**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

**Raggio esterno**  [cm]  
**Raggio interno**  [cm]  
**N° barre uguali**   
**Diametro barre**  [cm]  
**Copriferro (baric.)**  [cm]

**N° barre**  **Zoom**

**Tipologia Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☒ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
**S.L.U.** ☒ **Metodo n** ☒

**N<sub>Ed</sub>**  **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>**  **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>**  **0**

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] **xN**  **yN**

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Devia

**Vertici:**  **N° rett.**   
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
**L<sub>0</sub>**  cm **Col. modello**

**Materiali**

B450C		C25/30	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	14,17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0,8
$\epsilon_{syd}$	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9,75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,6
		$\tau_{cl}$	1,829

**M<sub>xRd</sub>**  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
**d**  cm  
**x**  **x/d**   
 $\delta$

☐ Precompresso

**LA VERIFICA RISULTA SODDISFATTA**



## PALI D= 0.8 METRI, L=20M

STR_1		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mdinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	0,8									
1,50	Riparto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	0,8	180	2,63		35,88					
3,60	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	5,60	19	20	0,8	180	2,63	283,56	1,00	268,09	0,04	8,00	0,29	77,75
30,00	Argilla stratificata e sabbia di formazione marina	47,50	314472	0,440496	35,60	20	20	0,8	650	2,63	304,49	1,90	1.612,35	0,12	8,00	0,29	467,58

STR_2		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mdinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	0,8									
1,50	Riparto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	0,8	180	2,63							
7,50	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	9,50	19	20	0,8	360	2,63	378,7	1,41	506,33	0,04	8,00	0,29	146,84
30,00	Argilla stratificata e sabbia di formazione marina	47,50	314472	0,440496	39,50	20	20	0,8	650	2,63	378,7	1,34	2.405,46	0,11	8,00	0,29	697,58

STR_3		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mdinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	0,8									
1,50	Riparto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	0,8	180	2,63							
30,00	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	32,00	19	20	0,8	650	2,63	520,82	1,90	935,70	0,04	8,00	0,29	271,35

STR_4		E1	Ep	amax	H1	ro	L	d	Vs	(L/d)*0,3	(Ep/E1)*0,65	(Vs2/Vs1)*0,5	M*cinem	Periodo strato	Nc	$\eta$	Mdinem
sp	str	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>			kN/mc	m	m					kNm	S			kNm
0,50	Misto di cava	15,30	314472	0,440496	0,50	14	20	0,8									
1,50	Riparto trattato a calce	1275,00	314472	0,440496	2,00	19	20	0,8	180	2,63	520,82						
9,50	Limo argilloso sabbioso/coltre	53,00	314472	0,440496	11,50	19	20	0,8	360	2,63	378,7	1,41	506,33	0,04	8,00	0,29	146,84
30,00	Argilla stratificata e sabbia di formazione marina	47,50	314472	0,440496	41,50	20	20	0,8	650	2,63	378,7	1,34	2.911,87	0,13	8,00	0,29	844,44

Verifica C.A. S.L.U. - File: sez circ

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno 80 [cm]  
Raggio interno 0 [cm]  
N° barre uguali 12  
Diametro barre 2 [cm]  
Copri ferro (baric.) 3 [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N Ed 0 kN  
M xEd 50 kNm  
M yEd 50 kNm

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  14,17  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9,75  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,6  
 $\tau_{c1}$  1,829

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+ S.L.U.-  
Metodo n

**Tipo flessione**

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

M xRd 1.066 kN m

$\sigma_c$  -14,17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  34,4 ‰  
d 157 cm  
x 14,5 x/d 0,09234  
 $\delta$  0,7



**Città di Fermo**  
**Settore IV e V**  
Lavori Pubblici, Protezione  
Civile, Ambiente, Urbanistica,  
Patrimonio, Contratti e Appalti

PROGETTAZIONE ESECUTIVA "IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO  
DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA  
PRODUZIONE DI BIOMETANO"  
**CIG: 9880245C18 CUP: F62F18000070004**

**LA VERIFICA RISULTA SODDISFATTA**

MANDATARIA

**EdilAlta**

MANDANTE

**Anaergia**  
Fueling a Sustainable World™

PROGETTISTA INDICATO

**OWAC**  
ENGINEERING COMPANY

**RELAZIONE GEOTECNICA  
PLATEA DIGESTORI**

REV. 01

Pag. 40 di 51





## 9. CALCOLO DEI CEDIMENTI PALI

### PALI D=1METRO

#### CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA

**OPERA:** digestore

#### DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D): 1,00 (m)  
Carico sul palo (P): 1380,0 (kN)  
Lunghezza del Palo (L): 20,00 (m)  
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 10,00 (m)  
Modulo di Deformazione (E): 40,00 (MPa)  
Numero di pali della Palificata (n): 62 (-)  
Spaziatura dei pali (s): 3,0 (m)

#### CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \log(L_{\text{utile}} / D): 1,50 (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}} = 5,18 \text{ (mm)}$$

#### CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

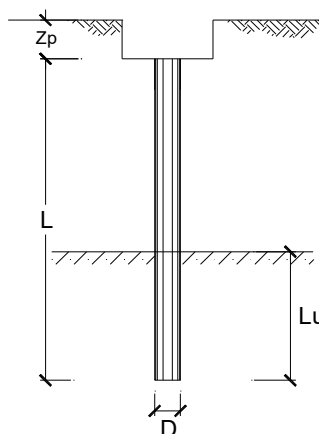
Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n \cdot s / L)^{0,5} \quad R = 3,050$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta = 62 \cdot 0,18 \cdot 5,18 = 57,09 \text{ (mm)}$$





**Città di Fermo**  
**Settore IV e V**  
Lavori Pubblici, Protezione  
Civile, Ambiente, Urbanistica,  
Patrimonio, Contratti e Appalti

PROGETTAZIONE ESECUTIVA "IMPIANTO DI TRATTAMENTO ANAEROBICO  
DELLA FRAZIONE ORGANICA DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI PER LA  
PRODUZIONE DI BIOMETANO"  
**CIG: 9880245C18 CUP: F62F18000070004**

**PALI D=0.8 metri**

MANDATARIA

**EdilAlta**

MANDANTE

**Anaergia**  
Fueling a Sustainable World™

PROGETTISTA INDICATO

**OWAC**  
ENGINEERING COMPANY

**RELAZIONE GEOTECNICA  
PLATEA DIGESTORI**

REV. 01

Pag. 42 di 51

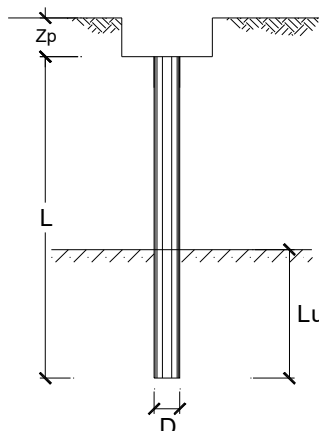


**CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA**

**OPERA:** Idrolisi

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 0,80 (m)  
Carico sul palo (P): 950,0 (kN)  
Lunghezza del Palo (L): 20,00 (m)  
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 10,00 (m)  
Modulo di Deformazione (E): 40,00 (MPa)  
Numero di pali della Palificata (n): 37 (-)  
Spaziatura dei pali (s): 2,4 (m)



**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \log(L_{utile} / D): 1,60 (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile} = 3,79 \text{ (mm)}$$

**CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:**

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n \cdot s / L)^{0,5} \quad R = 2,107$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta = 37 \cdot 0,27 \cdot 3,79 = 37,41 \text{ (mm)}$$

I valori del cedimento della palificata risultano ammissibili  
in accordo con la letteratura scientifica (Viggiani,  
*Fondazioni*)

Tipo di movimento	Fattore di limitazione	Valore ammissibile (mm)
Cedimento totale (mm)	Collegamento a reti di servizi	150 ÷ 300
	Accessibilità	300 ÷ 600
	Probabilità di cedimenti differenziali	
	Murature portanti	25 ÷ 50
	Strutture intelaiate	50 ÷ 100
	Ciminiere, silos	75 ÷ 300



## PALI - VERIFICHE A CARICO LIMITE VERTICALE E ORIZZONTALE

Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU

IdPl/Pnt PI	IdNd,sup/PII	carichi verticali: compressione					carichi verticali: trazione			carichi orizzontali					
		Q <sub>Ed,Max,V,c</sub>	Q <sub>Rd,V,c</sub>	Q <sub>Rd,V,Pt</sub>	Q <sub>Rd,V,Lt</sub>	CS <sub>V,c</sub>	Q <sub>Ed,Max,V,t</sub>	Q <sub>Rd,V,t</sub>	CS <sub>V,t</sub>	Q <sub>Ed,O</sub>	Q <sub>Rd,O</sub>	M <sub>max,O</sub>	T.R.	Z <sub>c,pls</sub>	CS <sub>O</sub>
		[N]	[N]	[N]	[N]		[N]	[N]		[N]	[N]	[N-m]		[m]	
PALO169	00001	1 345 081	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,97	0	2 181 782	-	12 153	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	27,16
PALO152	00002	1 349 142	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,96	0	2 181 782	-	12 527	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	26,35
PALO126	00003	1 311 362	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,02	0	2 181 782	-	14 228	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	23,20
PALO114	00004	1 280 359	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,07	0	2 181 782	-	15 220	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	21,69
PALO96	00005	1 248 686	2 569 270	1 601 535	967 735	2,06	0	2 075 739	-	14 106	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,13
PALO70	00006	1 295 766	2 569 270	1 601 535	967 735	1,98	0	2 075 739	-	13 962	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,32
PALO45	00007	1 351 955	2 569 270	1 601 535	967 735	1,90	0	2 075 739	-	12 494	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	20,47
PALO22	00008	1 326 271	2 437 499	1 589 800	847 699	1,84	0	1 832 232	-	11 445	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,34
PALO43	00009	1 307 029	2 437 499	1 589 800	847 699	1,86	0	1 832 232	-	12 535	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	20,40
PALO6	00010	1 272 860	2 437 499	1 589 800	847 699	1,91	0	1 832 232	-	13 768	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,57
PALO7	00011	1 257 299	2 437 499	1 589 800	847 699	1,94	0	1 832 232	-	13 618	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,78
PALO8	00012	1 270 411	2 437 499	1 589 800	847 699	1,92	0	1 832 232	-	13 232	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	19,33
PALO9	00013	1 301 024	2 437 499	1 589 800	847 699	1,87	0	1 832 232	-	11 354	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,52
PALO44	00014	1 309 627	2 437 499	1 589 800	847 699	1,86	0	1 832 232	-	9 411	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	27,17
PALO28	00015	1 290 286	2 437 499	1 589 800	847 699	1,89	0	1 832 232	-	7 590	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	33,69
PALO51	00016	1 315 369	2 569 270	1 601 535	967 735	1,95	0	2 075 739	-	4 321	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	59,18
PALO78	00017	1 308 922	2 569 270	1 601 535	967 735	1,96	0	2 075 739	-	1 061	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO104	00018	1 294 765	2 569 270	1 601 535	967 735	1,98	0	2 075 739	-	897	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO120	00019	1 306 534	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,03	0	2 181 782	-	1 076	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	NS
PALO132	00020	1 277 223	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,08	0	2 181 782	-	3 320	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	99,43
PALO156	00021	1 275 902	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,08	0	2 181 782	-	9 304	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	35,48
PALO170	00022	1 260 019	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,10	0	2 181 782	-	11 776	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	28,03
PALO178	00023	1 239 514	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,14	0	2 181 782	-	10 134	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	32,57
PALO177	00024	1 255 549	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,11	0	2 181 782	-	13 421	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	24,60
PALO176	00025	1 302 800	2 650 818	1 613 270	1 037 548	2,03	0	2 181 782	-	13 225	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	24,96
PALO127	00026	1 814 644	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,46	0	2 181 782	-	10 580	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	31,20
PALO115	00027	1 812 931	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,46	0	2 181 782	-	11 574	330 099	798 139	Palo Lungo	3,27	28,52
PALO97	00028	1 757 611	2 569 270	1 601 535	967 735	1,46	0	2 075 739	-	11 324	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,58

MANDATARIA

MANDANTE

PROGETTISTA INDICATO



**RELAZIONE GEOTECNICA  
PLATEA DIGESTORI**

REV. 01

Pag. 44 di 51



**Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU**

Id <sub>PI</sub> /Pnt PI	Id <sub>Nd,sup</sub> /Pili	carichi verticali: compressione					carichi verticali: trazione			carichi orizzontali					
		Q <sub>Ed,Max,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Pt</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Lt</sub> [N]	CS <sub>V,c</sub>	Q <sub>Ed,Max,V,t</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,t</sub> [N]	CS <sub>V,t</sub>	Q <sub>Ed,O</sub> [N]	Q <sub>Rd,O</sub> [N]	M <sub>max,O</sub> [N-m]	T.R.	Z <sub>c,pls</sub> [m]	CS <sub>O</sub>
PALO71	00029	1 778 637	2 569 270	1 601 535	967 735	1,44	0	2 075 739	-	11 231	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,77
PALO46	00030	1 807 629	2 569 270	1 601 535	967 735	1,42	0	2 075 739	-	10 637	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	24,04
PALO23	00031	1 755 852	2 437 499	1 589 800	847 699	1,39	0	1 832 232	-	10 257	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	24,93
PALO24	00032	1 750 094	2 437 499	1 589 800	847 699	1,39	0	1 832 232	-	10 835	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	23,60
PALO25	00033	1 744 543	2 437 499	1 589 800	847 699	1,40	0	1 832 232	-	10 597	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	24,13
PALO26	00034	1 743 557	2 437 499	1 589 800	847 699	1,40	0	1 832 232	-	9 278 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	27,56
PALO27	00035	1 732 401	2 437 499	1 589 800	847 699	1,41	0	1 832 232	-	7 183 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	35,60
PALO50	00036	1 768 668	2 569 270	1 601 535	967 735	1,45	0	2 075 739	-	4 874 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	52,47
PALO77	00037	1 753 386	2 569 270	1 601 535	967 735	1,47	0	2 075 739	-	2 557 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO103	00038	1 736 283	2 569 270	1 601 535	967 735	1,48	0	2 075 739	-	2 166 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO119	00039	1 771 658	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,50	0	2 181 782	-	3 790 099	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	87,10
PALO131	00040	1 765 276	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,50	0	2 181 782	-	6 929 099	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	47,64
PALO155	00041	1 770 141	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,50	0	2 181 782	-	8 405 099	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	39,27
PALO154	00042	1 776 244	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,49	0	2 181 782	-	9 713 099	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	33,99
PALO153	00043	1 799 966	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,47	0	2 181 782	-	10 239	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	32,24
PALO129	00044	2 147 377	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,23	0	2 181 782	-	7 304 099	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	45,19
PALO128	00045	2 164 257	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,22	0	2 181 782	-	8 290 099	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	39,82
PALO116	00046	2 100 212	2 569 270	1 601 535	967 735	1,22	0	2 075 739	-	8 625 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	29,65
PALO98	00047	2 118 290	2 569 270	1 601 535	967 735	1,21	0	2 075 739	-	8 966 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	28,52
PALO72	00048	2 136 126	2 569 270	1 601 535	967 735	1,20	0	2 075 739	-	8 826 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	28,97
PALO47	00049	2 149 300	2 569 270	1 601 535	967 735	1,20	0	2 075 739	-	8 864 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	28,85
PALO48	00050	2 146 134	2 569 270	1 601 535	967 735	1,20	0	2 075 739	-	8 457 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	30,24
PALO49	00051	2 136 468	2 569 270	1 601 535	967 735	1,20	0	2 075 739	-	6 890 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	37,12
PALO76	00052	2 114 286	2 569 270	1 601 535	967 735	1,22	0	2 075 739	-	4 600 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	55,59
PALO102	00053	2 094 720	2 569 270	1 601 535	967 735	1,23	0	2 075 739	-	2 997 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	85,33
PALO118	00054	2 071 968	2 569 270	1 601 535	967 735	1,24	0	2 075 739	-	3 568 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	71,67
PALO130	00055	2 143 536	2 650 818	1 613 270	1 037 548	1,24	0	2 181 782	-	5 744 099	330 798	798 139	Palo Lungo	3,27	57,47
PALO117	00056	2 220 126	2 569 270	1 601 535	967 735	1,16	0	2 075 739	-	5 508 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	46,43
PALO99	00057	2 238 262	2 569 270	1 601 535	967 735	1,15	0	2 075 739	-	6 685 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	38,25



**Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU**

Id <sub>PI</sub> /Pnt PI	Id <sub>Nd,sup</sub> /Pili	carichi verticali: compressione					carichi verticali: trazione			carichi orizzontali					
		Q <sub>Ed,Max,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Pt</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Lt</sub> [N]	CS <sub>V,c</sub>	Q <sub>Ed,Max,V,t</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,t</sub> [N]	CS <sub>V,t</sub>	Q <sub>Ed,O</sub> [N]	Q <sub>Rd,O</sub> [N]	M <sub>max,O</sub> [N-m]	T.R.	Z <sub>c,pls</sub> [m]	CS <sub>O</sub>
PALO73	00058	2 255 313	2 569 270	1 601 535	967 735	1,14	0	2 075 739	-	6 991	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	36,58
PALO74	00059	2 258 848	2 569 270	1 601 535	967 735	1,14	0	2 075 739	-	6 381	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	40,08
PALO75	00060	2 243 659	2 569 270	1 601 535	967 735	1,15	0	2 075 739	-	4 640	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	55,11
PALO101	00061	2 224 989	2 569 270	1 601 535	967 735	1,15	0	2 075 739	-	4 051	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	63,13
PALO100	00062	2 252 032	2 569 270	1 601 535	967 735	1,14	0	2 075 739	-	5 290	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	48,34
PALO184	00063	1 046 720	2 162 137	1 573 036	589 101	2,07	0	1 245 907	-	13 701	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,66
PALO185	00064	1 041 025	2 162 137	1 573 036	589 101	2,08	0	1 245 907	-	12 704	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	20,13
PALO175	00065	1 073 165	2 162 137	1 573 036	589 101	2,01	0	1 245 907	-	14 000	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,27
PALO168	00066	1 111 792	2 162 137	1 573 036	589 101	1,94	0	1 245 907	-	12 978	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	19,70
PALO151	00067	1 127 695	2 162 137	1 573 036	589 101	1,92	0	1 245 907	-	12 617	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	20,27
PALO125	00068	1 101 573	2 162 137	1 573 036	589 101	1,96	0	1 245 907	-	13 546	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,88
PALO113	00069	1 068 344	2 162 137	1 573 036	589 101	2,02	0	1 245 907	-	14 570	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	17,55
PALO95	00070	1 048 839	2 162 137	1 573 036	589 101	2,06	0	1 245 907	-	14 092	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	18,15
PALO69	00071	1 073 796	2 162 137	1 573 036	589 101	2,01	0	1 245 907	-	14 345	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	17,83
PALO42	00072	1 115 321	2 162 137	1 573 036	589 101	1,94	0	1 245 907	-	12 768	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	20,03
PALO41	00073	1 139 252	2 162 137	1 573 036	589 101	1,90	0	1 245 907	-	11 626	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,00
PALO21	00074	1 119 401	2 162 137	1 573 036	589 101	1,93	0	1 245 907	-	11 871	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	21,54
PALO20	00075	1 075 929	2 162 137	1 573 036	589 101	2,01	0	1 245 907	-	12 630	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	20,25
PALO19	00076	1 051 989	2 162 137	1 573 036	589 101	2,06	0	1 245 907	-	10 898	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	23,47
PALO18	00077	1 063 994	2 162 137	1 573 036	589 101	2,03	0	1 245 907	-	7 326	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	34,91
PALO37	00078	1 102 140	2 162 137	1 573 036	589 101	1,96	0	1 245 907	-	6 454	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	39,62
PALO36	00079	1 126 661	2 162 137	1 573 036	589 101	1,92	0	1 245 907	-	1 684	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO61	00080	1 139 211	2 162 137	1 573 036	589 101	1,90	0	1 245 907	-	1 039	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO87	00081	1 143 139	2 162 137	1 573 036	589 101	1,89	0	1 245 907	-	975	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO105	00082	1 132 045	2 162 137	1 573 036	589 101	1,91	0	1 245 907	-	1 000	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO121	00083	1 114 590	2 162 137	1 573 036	589 101	1,94	0	1 245 907	-	1 363	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	NS
PALO143	00084	1 105 712	2 162 137	1 573 036	589 101	1,96	0	1 245 907	-	5 288	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	48,36
PALO164	00085	1 112 614	2 162 137	1 573 036	589 101	1,94	0	1 245 907	-	8 316	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	30,75
PALO174	00086	1 112 199	2 162 137	1 573 036	589 101	1,94	0	1 245 907	-	10 355	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	24,70



**Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU**

Id <sub>PI</sub> /Pnt PI	Id <sub>Nd,sup</sub> /Pil	carichi verticali: compressione					carichi verticali: trazione			carichi orizzontali					
		Q <sub>Ed,Max,V,c</sub>	Q <sub>Rd,V,c</sub>	Q <sub>Rd,V,Pt</sub>	Q <sub>Rd,V,Lt</sub>	CS <sub>V,c</sub>	Q <sub>Ed,Max,V,t</sub>	Q <sub>Rd,V,t</sub>	CS <sub>V,t</sub>	Q <sub>Ed,O</sub>	Q <sub>Rd,O</sub>	M <sub>max,O</sub>	T.R.	Z <sub>c,pls</sub>	CS <sub>O</sub>
		[N]	[N]	[N]	[N]		[N]	[N]		[N]	[N]	[N-m]		[m]	
PALO183	00087	1 078 760	2 162 137	1 573 036	589 101	2,00	0	1 245 907	-	12 584	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	20,32
PALO166	00088	1 595 194	2 162 137	1 573 036	589 101	1,36	0	1 245 907	-	10 624	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	24,07
PALO167	00089	1 603 655	2 162 137	1 573 036	589 101	1,35	0	1 245 907	-	11 067	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	23,11
PALO149	00090	1 619 671	2 162 137	1 573 036	589 101	1,33	0	1 245 907	-	11 208	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,82
PALO150	00091	1 623 161	2 162 137	1 573 036	589 101	1,33	0	1 245 907	-	11 245	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,74
PALO112	00092	1 609 089	2 162 137	1 573 036	589 101	1,34	0	1 245 907	-	11 800	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	21,67
PALO94	00093	1 603 445	2 162 137	1 573 036	589 101	1,35	0	1 245 907	-	11 892	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	21,50
PALO68	00094	1 616 970	2 162 137	1 573 036	589 101	1,34	0	1 245 907	-	11 418	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	22,40
PALO67	00095	1 623 252	2 162 137	1 573 036	589 101	1,33	0	1 245 907	-	10 403	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	24,58
PALO40	00096	1 613 178	2 162 137	1 573 036	589 101	1,34	0	1 245 907	-	9 849 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	25,96
PALO39	00097	1 596 502	2 162 137	1 573 036	589 101	1,35	0	1 245 907	-	9 041 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	28,29
PALO38	00098	1 585 539	2 162 137	1 573 036	589 101	1,36	0	1 245 907	-	6 743 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	37,92
PALO63	00099	1 587 596	2 162 137	1 573 036	589 101	1,36	0	1 245 907	-	4 666 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	54,81
PALO62	00100	1 587 313	2 162 137	1 573 036	589 101	1,36	0	1 245 907	-	3 023 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	84,59
PALO88	00101	1 591 544	2 162 137	1 573 036	589 101	1,36	0	1 245 907	-	2 690 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	95,07
PALO106	00102	1 586 324	2 162 137	1 573 036	589 101	1,36	0	1 245 907	-	3 051 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	83,82
PALO144	00103	1 580 477	2 162 137	1 573 036	589 101	1,37	0	1 245 907	-	4 761 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	53,71
PALO145	00104	1 596 515	2 162 137	1 573 036	589 101	1,35	0	1 245 907	-	7 327 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	34,90
PALO165	00105	1 599 425	2 162 137	1 573 036	589 101	1,35	0	1 245 907	-	9 496 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	26,93
PALO147	00106	2 027 487	2 162 137	1 573 036	589 101	1,07	0	1 245 907	-	8 561 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	29,87
PALO148	00107	2 041 074	2 162 137	1 573 036	589 101	1,06	0	1 245 907	-	9 243 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	27,67
PALO124	00108	2 043 491	2 162 137	1 573 036	589 101	1,06	0	1 245 907	-	9 576 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	26,71
PALO111	00109	2 044 604	2 162 137	1 573 036	589 101	1,06	0	1 245 907	-	9 764 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	26,19
PALO93	00110	2 037 659	2 162 137	1 573 036	589 101	1,06	0	1 245 907	-	9 402 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	27,20
PALO66	00111	2 040 206	2 162 137	1 573 036	589 101	1,06	0	1 245 907	-	8 490 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	30,12
PALO65	00112	2 029 607	2 162 137	1 573 036	589 101	1,07	0	1 245 907	-	7 262 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	35,21
PALO64	00113	2 018 941	2 162 137	1 573 036	589 101	1,07	0	1 245 907	-	5 495 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	46,54
PALO89	00114	2 009 566	2 162 137	1 573 036	589 101	1,08	0	1 245 907	-	4 204 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	60,83
PALO107	00115	2 007 594	2 162 137	1 573 036	589 101	1,08	0	1 245 907	-	4 088 728	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	62,56





**Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU**

Id <sub>PI</sub> /Pnt PI	Id <sub>Nd,sup</sub> /Pili	carichi verticali: compressione					carichi verticali: trazione			carichi orizzontali					
		Q <sub>Ed,Max,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Pt</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Lt</sub> [N]	CS <sub>V,c</sub>	Q <sub>Ed,Max,V,t</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,t</sub> [N]	CS <sub>V,t</sub>	Q <sub>Ed,O</sub> [N]	Q <sub>Rd,O</sub> [N]	M <sub>max,O</sub> [N-m]	T.R.	Z <sub>c,pls</sub> [m]	CS <sub>O</sub>
PALO122	00116	2 010 056	2 162 137	1 573 036	589 101	1,08	0	1 245 907	-	5 209	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	49,09
PALO146	00117	2 025 077	2 162 137	1 573 036	589 101	1,07	0	1 245 907	-	7 129	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	35,87
PALO123	00118	2 125 164	2 162 137	1 573 036	589 101	1,02	0	1 245 907	-	7 159	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	35,72
PALO110	00119	2 115 198	2 162 137	1 573 036	589 101	1,02	0	1 245 907	-	7 911	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	32,33
PALO92	00120	2 113 553	2 162 137	1 573 036	589 101	1,02	0	1 245 907	-	7 726	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	33,10
PALO91	00121	2 131 565	2 162 137	1 573 036	589 101	1,01	0	1 245 907	-	6 495	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	39,37
PALO90	00122	2 103 645	2 162 137	1 573 036	589 101	1,02	0	1 245 907	-	5 248	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	48,73
PALO108	00123	2 135 695	2 162 137	1 573 036	589 101	1,01	0	1 245 907	-	5 675	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	45,06
PALO109	00124	2 145 411	2 162 137	1 573 036	589 101	1,01	0	1 245 907	-	6 468	255 728	798 139	Palo Lungo	4,33	39,54
PALO197	00125	686 648	1 647 404	585 621	1 061 783	2,40	0	1 998 935	-	51 561	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO198	00126	691 167	1 647 404	585 621	1 061 783	2,38	0	1 998 935	-	51 482	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO195	00127	688 672	1 647 404	585 621	1 061 783	2,39	0	1 998 935	-	51 494	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO190	00128	681 629	1 647 404	585 621	1 061 783	2,42	0	1 998 935	-	51 500	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO182	00129	677 095	1 647 404	585 621	1 061 783	2,43	0	1 998 935	-	51 451	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO163	00130	669 893	1 647 404	585 621	1 061 783	2,46	0	1 998 935	-	51 456	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO142	00131	664 121	1 647 404	585 621	1 061 783	2,48	0	1 998 935	-	51 473	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO141	00132	657 271	1 647 404	585 621	1 061 783	2,51	0	1 998 935	-	51 471	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO140	00133	659 979	1 647 404	585 621	1 061 783	2,50	0	1 998 935	-	51 488	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO137	00134	659 295	1 647 404	585 621	1 061 783	2,50	0	1 998 935	-	51 559	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO135	00135	663 475	1 647 404	585 621	1 061 783	2,48	0	1 998 935	-	51 638	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO134	00136	667 494	1 647 404	585 621	1 061 783	2,47	0	1 998 935	-	51 681	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO133	00137	672 967	1 647 404	585 621	1 061 783	2,45	0	1 998 935	-	51 673	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO157	00138	679 625	1 647 404	585 621	1 061 783	2,42	0	1 998 935	-	51 662	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO179	00139	678 706	1 647 404	585 621	1 061 783	2,43	0	1 998 935	-	51 645	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO189	00140	678 216	1 647 404	585 621	1 061 783	2,43	0	1 998 935	-	51 651	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO191	00141	681 814	1 647 404	585 621	1 061 783	2,42	0	1 998 935	-	51 674	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO196	00142	684 951	1 647 404	585 621	1 061 783	2,41	0	1 998 935	-	51 633	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO193	00143	1 038 207	1 647 404	585 621	1 061 783	1,59	0	1 998 935	-	51 600	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO194	00144	1 039 190	1 647 404	585 621	1 061 783	1,59	0	1 998 935	-	51 588	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19





**Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU**

Id <sub>PI</sub> /Pnt PI	Id <sub>Nd,sup</sub> /Pili	carichi verticali: compressione					carichi verticali: trazione			carichi orizzontali					
		Q <sub>Ed,Max,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Pt</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Lt</sub> [N]	CS <sub>V,c</sub>	Q <sub>Ed,Max,V,t</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,t</sub> [N]	CS <sub>V,t</sub>	Q <sub>Ed,O</sub> [N]	Q <sub>Rd,O</sub> [N]	M <sub>max,O</sub> [N-m]	T.R.	Z <sub>c,pls</sub> [m]	CS <sub>O</sub>
PALO188	00145	1 034 432	1 647 404	585 621	1 061 783	1,59	0	1 998 935	-	51 562	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO173	00146	1 028 514	1 647 404	585 621	1 061 783	1,60	0	1 998 935	-	51 536	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO162	00147	1 021 575	1 647 404	585 621	1 061 783	1,61	0	1 998 935	-	51 541	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO139	00148	1 020 218	1 647 404	585 621	1 061 783	1,61	0	1 998 935	-	51 559	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,20
PALO138	00149	1 018 733	1 647 404	585 621	1 061 783	1,62	0	1 998 935	-	51 585	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO136	00150	1 023 432	1 647 404	585 621	1 061 783	1,61	0	1 998 935	-	51 686	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO158	00151	1 027 683	1 647 404	585 621	1 061 783	1,60	0	1 998 935	-	51 701	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,18
PALO171	00152	1 031 295	1 647 404	585 621	1 061 783	1,60	0	1 998 935	-	51 692	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,18
PALO186	00153	1 034 117	1 647 404	585 621	1 061 783	1,59	0	1 998 935	-	51 697	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,18
PALO192	00154	1 034 749	1 647 404	585 621	1 061 783	1,59	0	1 998 935	-	51 691	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,18
PALO187	00155	1 267 736	1 647 404	585 621	1 061 783	1,30	0	1 998 935	-	51 611	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO181	00156	1 265 631	1 647 404	585 621	1 061 783	1,30	0	1 998 935	-	51 571	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO161	00157	1 259 978	1 647 404	585 621	1 061 783	1,31	0	1 998 935	-	51 573	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO160	00158	1 258 135	1 647 404	585 621	1 061 783	1,31	0	1 998 935	-	51 603	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO159	00159	1 262 715	1 647 404	585 621	1 061 783	1,30	0	1 998 935	-	51 659	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO180	00160	1 266 125	1 647 404	585 621	1 061 783	1,30	0	1 998 935	-	51 657	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO172	00161	1 334 634	1 647 404	585 621	1 061 783	1,23	0	1 998 935	-	51 575	216 324	483 036	Palo Lungo	2,99	4,19
PALO82	00162	707 821	1 173 440	570 727	602 713	1,66	0	1 047 568	-	51 034	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO85	00163	712 024	1 173 440	570 727	602 713	1,65	0	1 047 568	-	50 968	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO86	00164	709 611	1 173 440	570 727	602 713	1,65	0	1 047 568	-	50 974	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO59	00165	702 818	1 173 440	570 727	602 713	1,67	0	1 047 568	-	50 973	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO60	00166	698 225	1 173 440	570 727	602 713	1,68	0	1 047 568	-	50 927	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO35	00167	691 069	1 173 440	570 727	602 713	1,70	0	1 047 568	-	50 931	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO17	00168	685 341	1 173 440	570 727	602 713	1,71	0	1 047 568	-	50 949	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO5	00169	678 717	1 173 440	570 727	602 713	1,73	0	1 047 568	-	50 951	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO3	00170	681 177	1 173 440	570 727	602 713	1,72	0	1 047 568	-	50 958	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,31
PALO2	00171	680 614	1 173 440	570 727	602 713	1,72	0	1 047 568	-	51 030	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO1	00172	684 636	1 173 440	570 727	602 713	1,71	0	1 047 568	-	51 111	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO4	00173	688 625	1 173 440	570 727	602 713	1,70	0	1 047 568	-	51 156	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,29



**Pali - Verifiche a carico limite verticale e orizzontale allo SLU**

Id <sub>PI</sub> /Pnt PI	Id <sub>Nd,sup</sub> /Pili	carichi verticali: compressione					carichi verticali: trazione			carichi orizzontali					
		Q <sub>Ed,Max,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,c</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Pt</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,Lt</sub> [N]	CS <sub>V,c</sub>	Q <sub>Ed,Max,V,t</sub> [N]	Q <sub>Rd,V,t</sub> [N]	CS <sub>V,t</sub>	Q <sub>Ed,O</sub> [N]	Q <sub>Rd,O</sub> [N]	M <sub>max,O</sub> [N-m]	T.R.	Z <sub>c,pls</sub> [m]	CS <sub>O</sub>
PALO10	00174	694 062	1 173 440	570 727	602 713	1,69	0	1 047 568	-	51 156	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,29
PALO29	00175	700 504	1 173 440	570 727	602 713	1,68	0	1 047 568	-	51 148	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO52	00176	699 816	1 173 440	570 727	602 713	1,68	0	1 047 568	-	51 133	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO53	00177	699 549	1 173 440	570 727	602 713	1,68	0	1 047 568	-	51 137	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO79	00178	703 090	1 173 440	570 727	602 713	1,67	0	1 047 568	-	51 150	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,29
PALO80	00179	706 170	1 173 440	570 727	602 713	1,66	0	1 047 568	-	51 106	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO83	00180	1 037 381	1 173 440	570 727	602 713	1,13	0	1 047 568	-	51 059	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO84	00181	1 038 177	1 173 440	570 727	602 713	1,13	0	1 047 568	-	51 048	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO58	00182	1 033 606	1 173 440	570 727	602 713	1,14	0	1 047 568	-	51 022	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO34	00183	1 027 619	1 173 440	570 727	602 713	1,14	0	1 047 568	-	50 995	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO16	00184	1 020 899	1 173 440	570 727	602 713	1,15	0	1 047 568	-	51 003	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO15	00185	1 019 382	1 173 440	570 727	602 713	1,15	0	1 047 568	-	51 021	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO14	00186	1 018 151	1 173 440	570 727	602 713	1,15	0	1 047 568	-	51 047	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO12	00187	1 022 547	1 173 440	570 727	602 713	1,15	0	1 047 568	-	51 143	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO11	00188	1 026 900	1 173 440	570 727	602 713	1,14	0	1 047 568	-	51 162	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,29
PALO30	00189	1 030 338	1 173 440	570 727	602 713	1,14	0	1 047 568	-	51 156	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,29
PALO54	00190	1 033 322	1 173 440	570 727	602 713	1,14	0	1 047 568	-	51 159	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,29
PALO81	00191	1 033 997	1 173 440	570 727	602 713	1,13	0	1 047 568	-	51 148	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO56	00192	1 056 110	1 173 440	570 727	602 713	1,11	0	1 047 568	-	51 064	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO57	00193	1 106 110	1 173 440	570 727	602 713	1,06	0	1 047 568	-	51 028	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO33	00194	1 126 110	1 173 440	570 727	602 713	1,04	0	1 047 568	-	51 028	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO13	00195	1 096 110	1 173 440	570 727	602 713	1,07	0	1 047 568	-	51 056	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO31	00196	1 156 110	1 173 440	570 727	602 713	1,01	0	1 047 568	-	51 113	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO55	00197	1 166 110	1 173 440	570 727	602 713	1,01	0	1 047 568	-	51 111	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30
PALO32	00198	1 169 902	1 173 440	570 727	602 713	1,01	0	1 047 568	-	51 029	168 535	483 036	Palo Lungo	3,95	3,30



### LEGENDA:

<b>Id<sub>PI/Pnt PI</sub></b>	Identificativo del palo o del plinto su pali.
<b>Id<sub>Nd,sup/PII</sub></b>	Identificativo del nodo all'estremo superiore del palo o della pilastrata cui il plinto è collegato.
<b>Q<sub>Rd,V,Pt</sub></b>	Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza alla punta.
<b>Q<sub>Rd,V,Lt</sub></b>	Aliquota della resistenza di progetto verticale dovuto alla resistenza laterale.
<b>Q<sub>Ed,O</sub></b>	Carico orizzontale di progetto.
<b>Q<sub>Rd,O</sub></b>	Resistenza di progetto orizzontale.
<b>M<sub>max,O</sub></b>	Momento massimo lungo il palo per carichi orizzontali.
<b>T.R.</b>	Modalità di rottura per carico limite orizzontale (Palo Corto, Palo Medio, Palo Lungo).
<b>Z<sub>c,pls</sub></b>	Profondità della seconda cerniera plastica.
<b>CS<sub>O</sub></b>	Coefficiente di sicurezza per azioni orizzontali ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
<b>Q<sub>Ed,Max,V,c/</sub></b>	Carico verticale di progetto massimo a compressione (c) ed a trazione (t).
<b>Q<sub>Ed,Max,V,t</sub></b>	
<b>Q<sub>Rd,V,c/</sub></b>	Resistenza di progetto verticale a compressione (c) ed a trazione (t).
<b>Q<sub>Rd,V,t</sub></b>	
<b>CS<sub>V,c/</sub></b>	Coefficiente di sicurezza per azioni verticali a compressione (c) ed a trazione (t). ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]=
<b>CS<sub>V,t</sub></b>	Verifica Non Richiesta).

*Nota: "Il calcolo del carico limite dei pali è stato condotto tenendo conto della condizione in cui la fondazione profonda sostenga l'intero carico della sovrastruttura, escludendo il contributo della fondazione superficiale". Inoltre, in via cautelativa, è stato reso nullo il contributo della resistenza laterale palo-terreno della porzione palo che attraversa il banco di limo argilloso/coltre.*