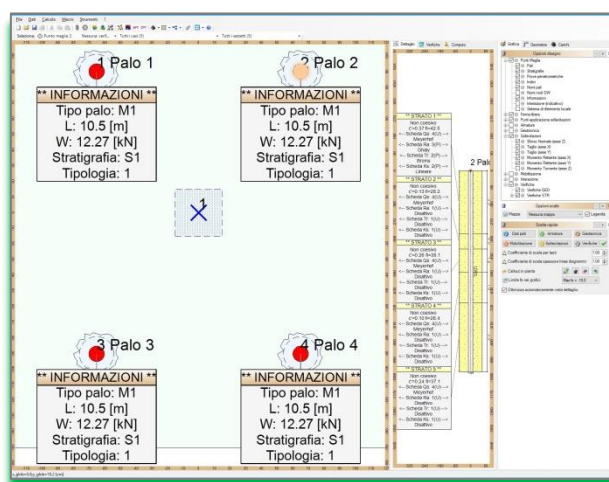




**CDM DOLMEN srl**  
SOFTWARE STRUTTURALE E GEOTECNICO - RESISTENZA AL FUOCO

# IS Palificate



## MANUALE UTENTE

## Indice

<b>1</b>	<b>RICHIAMI TEORICI .....</b>	<b>4</b>
1.1	CARICO LIMITE DI UN PALO .....	4
1.1.1	<i>Portata limite di base.....</i>	4
1.1.1.1	Terreni non coesivi.....	4
1.1.1.1.1	Pali infissi.....	5
1.1.1.1.1.1	Dimensionamento in base a modelli teorici.....	5
1.1.1.1.1.1.1	Pali con base al di sotto della profondità critica .....	5
1.1.1.1.1.1.2	Pali con base al di sopra della profondità critica.....	5
1.1.1.1.1.2	Dimensionamento in base a prove penetrometriche .....	6
1.1.1.1.2	Pali trivellati .....	9
1.1.1.2	Terreni coesivi.....	10
1.1.1.3	Roccia .....	11
1.1.1.4	Raccomandazioni AGI.....	11
1.1.1.5	Allargamenti anulari.....	12
1.1.2	<i>Portata limite per attrito laterale .....</i>	12
1.1.2.1	Terreni non coesivi.....	12
1.1.2.1.1	Pali infissi.....	12
1.1.2.1.1.1	Dimensionamento in base a modelli teorici.....	12
1.1.2.1.1.2	Dimensionamento in base a prove penetrometriche .....	13
1.1.2.1.2	Pali trivellati .....	14
1.1.2.1.2.1	Dimensionamento in base a modelli teorici.....	14
1.1.2.1.2.2	Dimensionamento in base a prove penetrometriche .....	15
1.1.2.1.3	Micropali .....	15
1.1.2.1.3.1	Metodo di Bustamante e Doix.....	18
1.1.2.2	Terreni coesivi.....	18
1.1.2.2.1	Pali infissi.....	18
1.1.2.2.1.1	Metodo $\alpha$ (in termini di tensioni totali) .....	18
1.1.2.2.1.2	Metodo $\beta$ (in termini di tensioni efficaci).....	19
1.1.2.2.2	Pali trivellati .....	19
1.1.2.2.2.1	Metodo $\alpha$ (in termini di tensioni totali) .....	19
1.1.2.2.2.2	Metodo $\beta$ (in termini di tensioni efficaci).....	20
1.1.2.2.3	Micropali .....	20
1.1.2.2.3.1	Metodo di Bustamante e Doix.....	20
1.1.2.3	Roccia .....	21
1.1.2.4	Raccomandazioni AGI.....	21
1.2	CEDIMENTI CORRISPONDENTI AL CARICO LIMITE .....	23
1.2.1	<i>Cedimenti corrispondenti alla portata limite di base .....</i>	23
1.2.1.1	Terreni non coesivi.....	23
1.2.1.1.1	Pali infissi.....	23
1.2.1.1.2	Pali trivellati .....	23
1.2.1.2	Terreni coesivi.....	24
1.2.2	<i>Pali sottoposti a trazione .....</i>	24
1.2.3	<i>Cedimenti corrispondenti alla portata limite per attrito laterale.....</i>	25
1.3	RESISTENZA LIMITE LATERALE DI UN PALO .....	26
1.3.1.1	Terreni non coesivi.....	26
1.3.1.2	Terreni coesivi .....	26
1.4	MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE .....	27
1.5	COMPORTAMENTO DEI PALI IN GRUPPO.....	27
1.5.1.1	Terreni non coesivi.....	28

1.5.1.2	Terreni coesivi .....	28
1.5.1.3	Il metodo dei fattori di interazione .....	29
1.6	INSTABILITÀ (CARICO DI PUNTA) .....	31
<b>2</b>	<b>UTILIZZO DEL PROGRAMMA .....</b>	<b>33</b>
2.1	CONVENZIONI, SIMBOLI ED UNITÀ DI MISURA .....	33
2.2	PANORAMICA DEI COMANDI DISPONIBILI .....	33
2.3	FINESTRE DI DIALOGO .....	38
2.3.1	<i>Tipologie di pali</i> .....	38
2.3.2	<i>Sezioni</i> .....	41
2.3.3	<i>Normativa</i> .....	41
2.3.4	<i>Materiali</i> .....	44
2.3.5	<i>Casi di carico</i> .....	44
2.3.6	<i>Liquefazione</i> .....	46
2.3.7	<i>Interazione cinematica</i> .....	47
2.3.8	<i>Carico critico</i> .....	47
2.3.9	<i>Tipologie di terreno</i> .....	47
2.3.10	<i>Stratigrafie</i> .....	49
2.3.11	<i>Prove SPT</i> .....	50
2.3.12	<i>Prove CPT</i> .....	51
2.3.13	<i>Schede di capacità portante di base, Qb</i> .....	51
2.3.13.1	Metodo "Assegnato" .....	52
2.3.13.2	Metodo "Vesic" .....	52
2.3.13.3	Metodo "Prova SPT" .....	53
2.3.13.4	Metodo "Prova CPT" .....	53
2.3.13.5	Metodo "Jamiolkowski e Lancellotta" .....	53
2.3.13.6	Metodo "Reese e O'Neill" .....	54
2.3.13.7	Metodo "Berezantzev" .....	54
2.3.13.8	Metodo "Coesivo" .....	54
2.3.13.9	Metodo "AGI" .....	54
2.3.13.10	Metodo "Roccia" .....	55
2.3.13.11	Metodo "Avvitato" .....	55
2.3.14	<i>Schede di capacità portante laterale, Qs</i> .....	55
2.3.14.1	Metodo "Assegnato" .....	56
2.3.14.2	Metodo "Generale" .....	56
2.3.14.3	Metodo "Kulhavy" .....	56
2.3.14.4	Metodo "Meyerhof" .....	57
2.3.14.5	Metodo "De Beer" .....	57
2.3.14.6	Metodo "Reese" .....	57
2.3.14.7	Metodo "Reese e O'Neill" .....	58
2.3.14.8	Metodo "Meardi" .....	58
2.3.14.9	Metodo "Alfa" .....	58
2.3.14.10	Metodo "Beta" .....	58
2.3.14.11	Metodo "Bustamante e Doix" .....	59
2.3.14.12	Metodo "AGI" .....	59
2.3.14.13	Metodo "Roccia" .....	59
2.3.14.14	Metodo "Avvitato" .....	60
2.3.15	<i>Metodo "LCPC"</i> .....	60
2.3.16	<i>Schede di resistenza dell'ancoraggio, Ra</i> .....	60
2.3.17	<i>Schede predefinite, per Qb, Qs e Ra</i> .....	61
2.3.18	<i>Schede di resistenza trasversale, Tr</i> .....	61
2.3.18.1	Metodo "Assegnato" .....	62
2.3.18.2	Metodo "Coesivo" .....	62

2.3.18.3	Metodo "Brinch Hansen" .....	62
2.3.18.4	Metodo "Broms" .....	62
2.3.19	<i>Schede di modulo di resistenza orizzontale, Ks</i> .....	63
2.3.19.1	Metodo "Assegnato" .....	63
2.3.19.2	Metodo "Lineare" .....	63
2.3.19.3	Metodo "Palmer e Thompson" .....	64
2.3.20	<i>Schede predefinite, per Tr e Ks</i> .....	64
2.3.21	<i>Assegnazione della tipologia di palo e della stratigrafia</i> .....	64
2.3.22	<i>Assegnazione delle prove SPT e CPT</i> .....	65
2.3.23	<i>Assegnazione delle schede di calcolo</i> .....	65
2.4	FINESTRA PRINCIPALE .....	66
2.4.1	<i>Barra di selezione</i> .....	66
2.4.2	<i>Disegno in pianta</i> .....	68
2.4.3	<i>Disegno di dettaglio</i> .....	70
2.4.4	<i>Tabella di riassunto verifiche</i> .....	73

# 1 Richiami teorici

## 1.1 Carico limite di un palo

Il carico limite è dato dalla somma della **portata limite di base  $Q_b$**  e della **portata limite per attrito laterale  $Q_s$** .

$$Q_b = q_{lim} A_b$$

$$Q_s = \int_{A_s} f_z dA_s = f_s A_s$$

$q_{lim}$  = portata unitaria limite di base

$A_b$  = area di base

$f_z$  = portata unitaria laterale limite alla quota  $z$

$A_s$  = area laterale

$f_s$  = valore medio della portata unitaria laterale limite

La portata limite di base viene mobilitata per cedimenti superiori di un ordine di grandezza a quelli necessari per mobilitare la portata limite per attrito laterale. In genere il rapporto fra i due contributi dipende dal rapporto fra la lunghezza ed il diametro del palo, oltre che dalle caratteristiche meccaniche terreno.

Si effettuano le seguenti distinzioni:

- Tipo di terreno
  - Terreno coesivo.
  - Terreno non coesivo.
  - Roccia.
- Tecnologia di installazione.
  - Pali infissi.
  - Pali trivellati.
  - Pali ad elica continua.
  - Pali a vite.
  - Micropali.

In genere il procedimento di infissione provoca un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno intorno al palo, o quanto meno un ritorno alle condizioni iniziali. Al contrario la realizzazione di pali trivellati comporta una riduzione dello stato di sforzo iniziale, ed il ripristino delle condizioni iniziali è solo parziale.

### 1.1.1 Portata limite di base

#### 1.1.1.1 Terreni non coesivi

I metodi teorici di calcolo esprimono la portata di base in funzione di un coefficiente di capacità portante moltiplicato per la tensione verticale efficace alla quota raggiunta dalla base del palo. Osservazioni sperimentali hanno provato che la portata di base non varia linearmente con l'approfondimento, ma ha un andamento di tipo asintotico oltre una certa "profondità critica". Per questo motivo occorre distinguere due situazioni distinte: pali con base al di sotto della profondità critica ( $z_{cr}$ ) e pali con base al di sopra di tale profondità. Mediamente la profondità critica varia da 10 a 20 volte il diametro del palo ( $D$ ), ed è minore nei terreni sciolti che nei terreni densi.

### 1.1.1.1.1 Pali infissi

#### 1.1.1.1.1.1 Dimensionamento in base a modelli teorici

La portata di base viene valutata in termini di tensione efficace, con l'espressione generale:

$$Q_b = q_{lim} A_b = (\sigma'_{v0} N_q) A_b$$

$A_b$  = area di base

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace alla quota raggiunta dalla base

$N_q$  = coefficiente di capacità portante

Il valore del coefficiente di capacità portante  $N_q$  dipende dalle caratteristiche del terreno e dal meccanismo di rottura ipotizzato. Diversi Autori (*Prandtl, De Beer, Berezantsev*) hanno ipotizzato diversi meccanismi di rottura, perciò il valore di  $N_q$  è caratterizzato in letteratura da una variabilità notevolmente elevata. Va inoltre tenuto conto delle evidenze sperimentali, che evidenziano l'esistenza di una "profondità critica"  $z_{cr}$  oltre la quale il valore della portata di base ha andamento di tipo asintotico.

#### 1.1.1.1.1.1.1 Pali con base al di sotto della profondità critica

La portata unitaria limite di base può essere valutata secondo l'espressione:

$$q_{lim,cr} = \sigma'_{cr} N_q$$

$\sigma'_{cr}$  = pressione verticale efficace alla profondità critica  $z_{cr}$

$N_q$  = fattore adimensionale di capacità portante

Si consiglia di valutare  $N_q$  con la soluzione proposta da *Vesic* (1972, 1975, 1977):

$$N_q = (1 + \tan \varphi') e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

valutando la quota critica  $z_{cr}$  a cui calcolare la tensione verticale efficace  $\sigma'_{cr}$  ed il valore di  $\varphi'$  da introdurre nella relazione di *Vesic* secondo la tabella:

Densità Relativa $D_R$	Profondità critica $z_{cr}$ in funzione del diametro del palo $D$	Angolo d'attrito $\varphi'$ per la relazione di <i>Vesic</i>
sciolta (15% – 35%)	8 – 12 $D$	29° – 30°
mediamente addensata (35% – 65%)	12 – 16 $D$	31° – 33°
densa (65% – 85%)	16 – 20 $D$	34° – 36°
molto densa (85% +)	20 $D$	37° – 38°

#### 1.1.1.1.1.1.2 Pali con base al di sopra della profondità critica

La portata unitaria limite di base può essere valutata secondo l'espressione:

$$q_{lim} = \sigma'_{v0} N_q$$

$\sigma'_{v0}$  = pressione verticale efficace alla profondità  $z \leq z_{cr}$

$N_q$  = fattore adimensionale di capacità portante

Si consiglia di valutare  $N_q$  con la soluzione proposta da *Vesic*:

$$N_q = (1 + \tan \varphi') e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pagg. 39 – 40.

Nome del metodo di calcolo: "Vesic".

#### 1.1.1.1.2 Dimensionamento in base a prove penetrometriche

Per superare il limite degli approcci di tipo teorico *Meyerhof* (1976) suggerisce di utilizzare direttamente i risultati delle prove penetrometriche, ponendo:

$$q_{lim} = q_c = 0.4 N_{SPT} \text{ [MPa]}$$

$q_c$  = resistenza all'avanzamento della punta (CPT)

$N_{SPT}$  = numero di colpi per un avanzamento di 30 cm (SPT)

Per fare affidamento sulla completa mobilitazione di  $q_{lim}$  occorre tenere conto degli effetti di scala (fra le dimensioni del palo e quelle del penetrometro), soprattutto nel caso di terreni stratificati. Il valore limite  $q_{lim}$  espresso dalla precedente relazione può ritenersi valido se il palo si è immorsato in uno strato sabbioso per un tratto non inferiore a 10 volte il proprio diametro, e non dista meno della stessa lunghezza da uno strato inferiore.

Nel caso di prove penetrometriche dinamiche standard (SPT) si consiglia di utilizzare la seguente relazione:

$$q_{lim} = R \cdot N_{SPT} \leq 15 \text{ [MPa]}$$

$R = 0.4$  per sabbie pulite

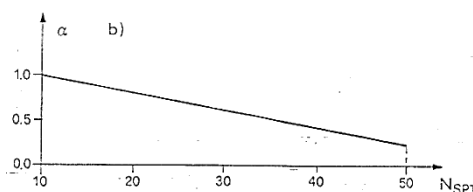
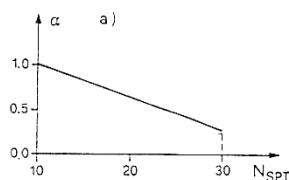
$R = 0.3$  per sabbie fini e/o limose

Nel caso di sabbie ghiaiose o nelle ghiaie i risultati della prova penetrometrica possono perdere di validità, perciò può essere utile considerare  $R=0.4$  ma correggere i valori di  $N_{SPT}$  con un coefficiente  $\alpha$  definito dai grafici di *Weltman* e *Healy*:

FATTORE DI RIDUZIONE  $\alpha$

a) Per ghiaie impermeabili

b) Per ghiaie permeabili



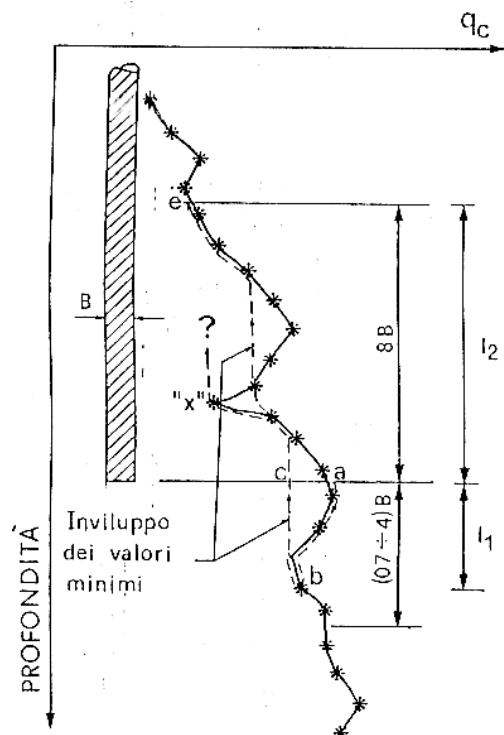
Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pagg. 38 – 39.

Nome del metodo di calcolo: "Prova SPT".

Nel caso di prove penetrometriche statiche (CPT) si consiglia di utilizzare la seguente relazione:

$$q_{lim} = q_c \leq 15 \text{ [MPa]}$$

Si dovrebbe avere l'accortezza di correggere il valore di  $q_c$  utilizzato nei calcoli secondo il metodo della "Dutch practice" (procedura danese):



$q_{c1}$  =  $q_c$  medio per una distanza  $\gamma$  al di sotto della base del palo (percorso a-b-c). I valori di  $q_c$  sono da sommare sia verso il basso (percorso a-b) che verso l'alto (percorso b-c). Sul percorso a-b sono da usare i valori di  $q_c$  sperimentali, mentre su b-c è da prevedere il valore minimo.  $q_{c1}$  è da valutare per diversi valori di  $\gamma$  variabili fra  $(0,7 \div 4) B$  ed è da prendere il valore minimo di calcolo.

$q_{c2}$  =  $q_c$  medio per una distanza pari a  $8B$  al di sopra della base del palo (percorso c-e). Usare il minimo valore di  $q_c$  lungo il percorso c-e (verso l'alto). Nel caso di sabbia ignorare lungo c-e i valori minimi "x" dovuti a picchi di depressione.

PROCEDURA DANESE (HEINEN, 1974)

Il limite superiore di  $q_{lim}$  dovrebbe essere modificato secondo il tipo di terreno:

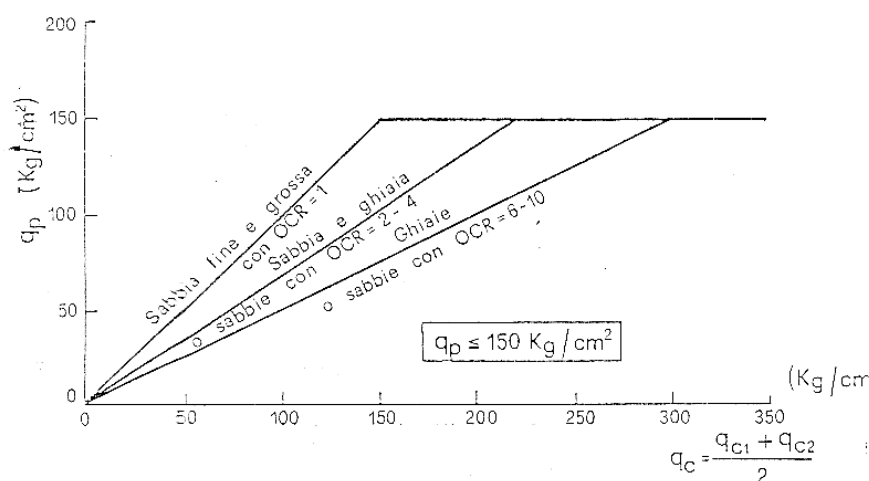


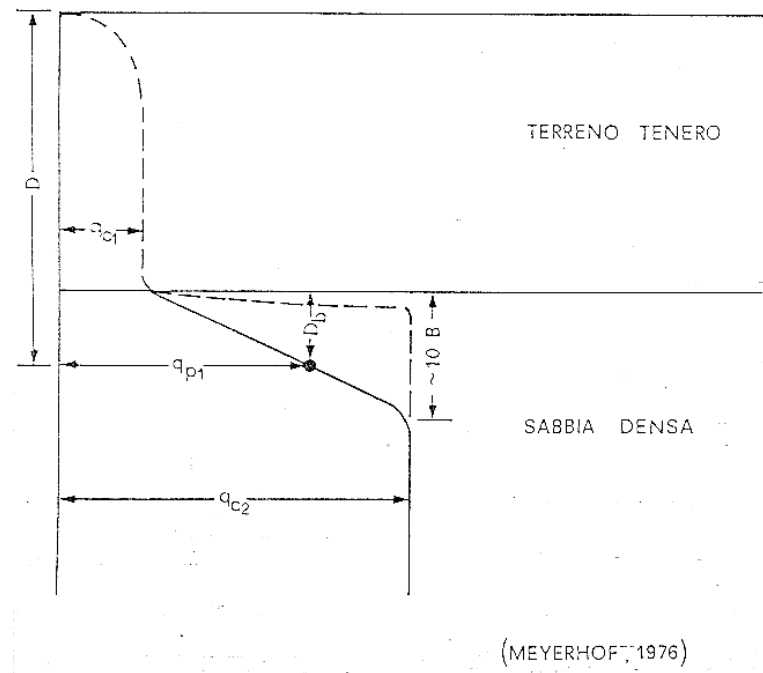
FIG. 27 : VALORI DI  $q_p$  IN FUNZIONE DI  $q_c$  E DEL TIPO DI TERRENO

(TE KAMP, 1977)

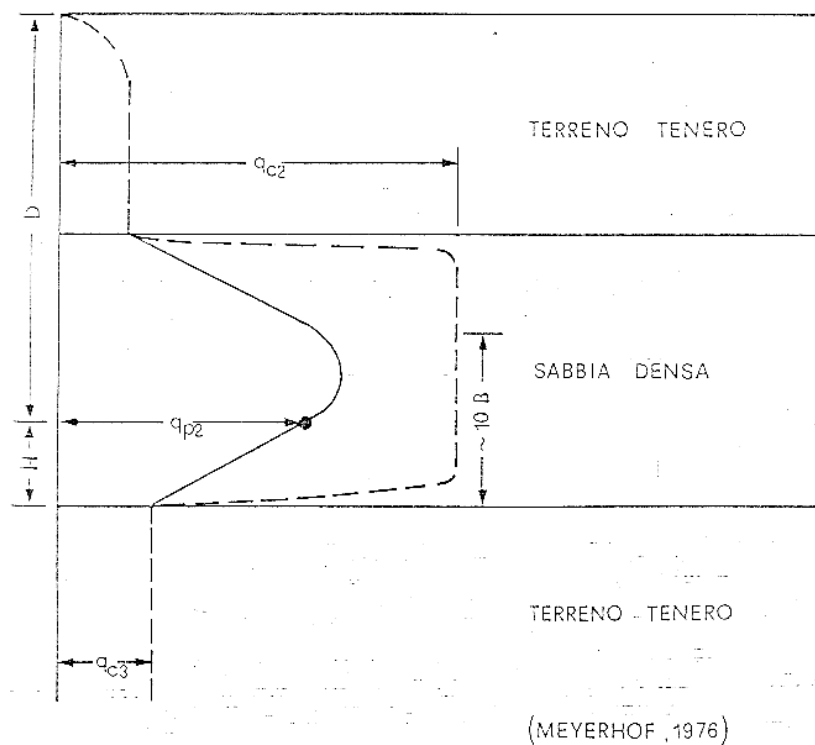


Avendo a che fare con terreni non omogenei, è necessario tenere conto degli effetti di scala (diametro penetrometro / diametro palo) legati alle condizioni stratigrafiche, nei modi riassunti dalle seguenti relazioni:

$$q_{p1} = q_{c1} + (q_{c2} - q_{c1}) \frac{D_b}{10B} \leq q_{c2}$$



$$q_{p2} = q_{c,3} + (q_{p1} - q_{c,3}) \frac{H}{10B} \leq q_{c,2}$$



Da una serie di campagne con un numero di prove molto elevato, *Bustamante* e *Gianeselli* (1982) hanno ricavato delle correlazioni empiriche tra i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT) e le portate di base per pali di diverso tipo. Si scrive una correlazione del tipo  $q_{lim} = k_c q_c$ , con il coefficiente  $k_c$  ottenuto dalla seguente tabella:

				$k_c$	
		Soil type	$q_c$ (MPa)	Non-displacement pile	Displacement pile
Clay silt	A	Soft	<3	0.40	0.55
	B	Stiff	3–6		
	C	Hard(clay)	>6		
Sand gravel	A	Loose	<5	0.15	0.50
	B	Medium	8–15		
	C	Dense	>20		

Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pag. 38.

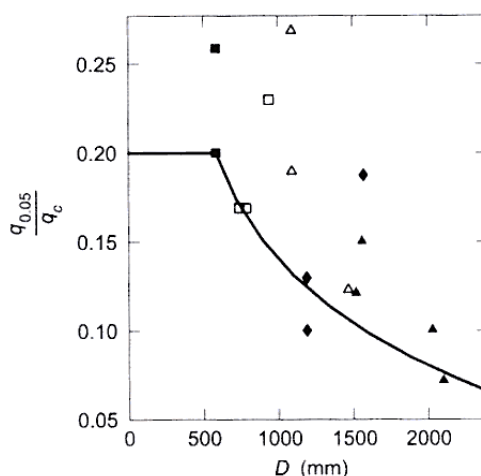
Nome del metodo di calcolo: "Prova CPT".

#### 1.1.1.1.2 Pali trivellati

Valgono le valutazioni fatte per il caso dei pali infissi, ma poiché la mobilitazione della portata limite di base  $q_{lim}$  corrisponde a cedimenti del palo  $s$  molto più elevati, è necessario fare riferimento ad un valore  $q_{lim}$  associato ad un prefissato valore del rapporto  $s/D$  ( $D$  = diametro del palo). Il valore di riferimento di  $s/D$  è posto usualmente pari a 0.05 (5%), in corrispondenza del quale si riscontrano valori di portata di base molto inferiori (fino ad 1/3) di quelli valutati con gli approcci suggeriti nel caso di pali infissi. Per utilizzare tali approcci, è necessario associare alla portata limite di base dei cedimenti molto più elevati.

In alternativa è possibile riferirsi a metodi che permettono di calcolare valore il  $q_{lim}$  corrispondente a  $s/D = 0.05$ , indicato come  $q_{0.05}$ .

*Jamiolkowski* e *Lancellotta* (1988) suggeriscono la seguente correlazione empirica con i risultati di una prova penetrometrica statica (CPT):



Rif.: Renato LANCELOTTO, "Fondazioni", pag. 365.

Nome del metodo di calcolo: "Jamiolkowski e Lancellotta".

Reese e O'Neill (1988) suggeriscono la seguente relazione con i risultati di una prova penetrometrica dinamica standard (SPT):

$$q_{0.05} = 0.06 N_{SPT} \leq 4.3 \text{ [MPa]}$$

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pag. 365.

Nome del metodo di calcolo: "Reese e O'Neill".

Berezantzev (1970) suggerisce l'utilizzo di un approccio semiempirico, secondo l'espressione:

$$q_{cr} = M \sigma'_{cr} \text{ (pali con base al di sotto della profondità critica } z_{cr})$$

$$q_{cr} = M \sigma'_{v0} \text{ (pali con base al di sopra della profondità critica } z_{cr})$$

con M e  $z_{cr}$  dedotti dalla seguente tabella:

$\phi'$	30	32	34	36	38	40	42	44
M	7.5	8.8	10.7	12.9	15.8	19.8	24.7	31.4
$z_{cr}/D$	7	8.5	10	12	14	16	18	22

La tabella riporta valori corrispondenti ad un rapporto  $s/D$  che varia da 0.06 a 0.10.

Per ottenere il valore di  $q_{0.05}$  (nell'ipotesi cautelativa che i dati ottenuti corrispondano tutti a  $s/D = 0.09 - 0.10$ ) si può applicare a  $q_{cr}$  il fattore di sicurezza  $F_{sb}$  pari a 1.4, ottenendo  $q_{0.05} = q_{cr} / 1.4$ .

Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pag. 42.

Nome del metodo di calcolo: "Berezantsev".

### 1.1.1.2 Terreni coesivi

La portata limite di base si valuta in termini di tensioni totali, con l'espressione generale:

$$Q_b = q_{lim} A_b = (s_u N_c + \sigma_{v0}) A_b$$

$A_b$  = area di base

$\sigma_{v0}$  = tensione verticale totale alla quota raggiunta dalla base

$N_c$  = coefficiente di capacità portante

In genere, soprattutto nel caso di argille tenere, il fattore di capacità portante  $N_c$  viene assunto pari a 9, senza ulteriori approfondimenti in virtù del fatto che la portata di base rappresenta una frazione della portata totale.

La resistenza al taglio non drenata  $s_u$  va valutata con attenzione, soprattutto nel caso di argille consistenti (e fessurate). Per pali immersi in questi materiali la resistenza al taglio mobilitabile diminuisce all'aumentare del diametro del palo, aumentando il volume di terreno interessato alla rottura. Il valore di  $s_u$  da utilizzare può essere attendibilmente determinato in sito solo attraverso prove di carico effettuate con piastre di grosse dimensioni a varie profondità. Nel caso si disponga dei risultati di prove triassiali, conviene correggerli per mezzo del coefficiente  $R_c$  (Meyerhof, 1983):

$$R_c = \frac{D+0.5}{2D} \leq 1, D \text{ espresso in [m] (pali infissi)}$$

$$R_c = \frac{D+1}{2D+1} \leq 1, D \text{ espresso in [m] (pali trivellati)}$$

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 354 – 355.

Nome del metodo di calcolo: "Coesivo".

### 1.1.1.3 Roccia

La valutazione della portata di base dei pali su roccia può essere effettuata ricorrendo alle teorie della portanza, all'uso di dati empirici o di prove in situ. Riassumendo il lavoro di molti Autori (*Pells*, 1977; *Meyerhof*, 1953; *Sowers*, 1970), si può affermare che il valore della portanza ultima sarà raramente distante da quello della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, anche in presenza di fratture verticali.

Volendo ricorrere all'uso di dati empirici, si può fare riferimento al seguente compendio di proprietà tipiche delle rocce (*Peck*, 1969), da cui ricavare il valore della resistenza monoassiale alla compressione  $q_{um}$ :

Roccia	$q_{um}$ [MPa]	
Basalto	199	462
Granito	69	267
Quarzite	110	309
Calcare	16.9	196
Marmo	54.5	186
Arenaria	33.8	138
Argilloscisto	47.9	214
Argillite	3.4	44.8
Calcestruzzo	13.8	34.5

Normalmente le massime pressioni ammissibili sono comprese fra 0.2 e 0.5  $q_{um}$ .

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 40 – 42.

Nome del metodo di calcolo: "Roccia".

### 1.1.1.4 Raccomandazioni AGI

La portata di base di pali in terreni incoerenti (ghiaie, sabbie) può essere calcolata in termini di tensione efficace, con l'espressione generale:

$$Q_b = q_b A_b = (c' N_c + \sigma'_{v0} N_q) A_b$$

$A_b$  = area di base

$c'$  = coesione efficace

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace alla quota raggiunta dalla base

$N_c, N_q$  = coefficienti di capacità portante

Per i coefficienti di capacità portante valgono le seguenti relazioni

$$N_q = \frac{e^{2\left(0.75\pi - \frac{\varphi'}{2}\right)\tan(\varphi')}}{2\cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right)} \quad \text{Terzaghi}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right) \quad \text{Meyerhof}$$

$$N_q = (1 + \tan \varphi') e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right) \quad \text{Vesic}$$

$$N_c = (N_q - 1.0) / \tan(\varphi') \quad \text{Reissner}$$

Nel caso di terreni coesivi (limi, argille), l'espressione generale della portata di base viene modificata come segue:

$$Q_b = q_b A_b = (s_u N_c + \sigma_{v0} N_q) A_b$$

$A_b$  = area di base

$s_u$  = resistenza al taglio non drenata

$\sigma_{v0}$  = tensione verticale totale alla quota raggiunta dalla base

$N_c = 9.0$

$N_q = 1.0$

Rif.: Associazione Geotecnica Italiana, "Raccomandazioni sui pali di fondazione", pagg. 19 – 24.

Nome del metodo di calcolo: "AGI".

#### 1.1.1.5 Allargamenti anulari

Gli allargamenti anulari lungo il fusto del palo possono essere utilizzati per incrementare la capacità portante.

Un palo con un solo bulbo può essere considerato alla stessa stregua di un palo con base allargata.

Più bulbi, opportunamente distanziati, possono dare un contributo a capacità portante analogo a quello della base del palo, pur annullando la resistenza laterale per il tratto di fusto coinvolto nel meccanismo resistente.

Se i bulbi sono posti ad una distanza tale da interferire tra loro, il terreno tra i bulbi tende ad agire come parte integrante del palo, sicché si mobilita la resistenza al taglio del cilindro di terreno circoscritto ai bulbi, mentre il meccanismo resistente analogo alla base del palo si conserva solo per il bulbo più basso.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 46 – 47.

### 1.1.2 Portata limite per attrito laterale

#### 1.1.2.1 Terreni non coesivi

Osservazioni sperimentali hanno provato che i valori di  $f_z$  (come quelli di  $q_{lim}$ ) non crescono linearmente con la lunghezza interrata del palo ma tendono ad un valore asintotico, che può ritenersi raggiunto ad una profondità critica  $z_{cr}$  pari a circa 10 – 20 volte il diametro del palo. *Robinsky* e *Morrison* (1964) hanno evidenziato sperimentalmente che, per effetto dei carichi applicati al palo, lungo il fusto in vicinanza della punta si creano deformazioni di estensione che possono condurre a condizioni di sollecitazioni in qualche modo simili a quelle di spinta attiva.

##### 1.1.2.1.1 Pali infissi

###### 1.1.2.1.1.1 Dimensionamento in base a modelli teorici

La portata per attrito laterale viene valutata in termini di tensione efficace, con l'espressione generale:

$$Q_s = f_z A_s = (K \sigma'_{v0} \tan \delta) A_s$$

$K$  = coefficiente di spinta

$\delta$  = angolo di attrito palo - terreno

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace iniziale

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 362 – 363.

Nome del metodo di calcolo: "Generale".

Secondo *Kulhavy* (1983) il valore di  $\delta$  coincide con quello di  $\varphi'$  (angolo di resistenza al taglio) per un palo in calcestruzzo e varia da 0.5 a 0.9  $\varphi'$  nel caso di un palo tubolare in acciaio. Lo stesso Autore suggerisce di utilizzare un coefficiente di spinta  $K$  compreso fra  $3/4$  e  $5/4 K_0$  (coefficiente di spinta a riposo) nel caso di trascurabile compattazione del terreno dovuta all'infissione e fra 1.0 e 2.0  $K_0$  nel caso di compattazione significativa. L'espressione teorica attribuisce ad  $f_z$  una crescita lineare con la profondità, mentre prove sperimentali evidenziano un andamento di tipo asintotico. Dal punto di vista teorico tale fenomeno può essere giustificato osservando che l'aumento della tensione verticale efficace  $\sigma'_{v0}$  è in parte compensato dalla riduzione del coefficiente di spinta  $K$ , per effetti legati all'operazione di installazione del palo e per l'influenza della storia tensionale sul valore di  $K_0$ .

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 362 – 363.

Nome del metodo di calcolo: "Kulhavy".

#### 1.1.2.1.1.2 Dimensionamento in base a prove penetrometriche

*Meyerhof* (1976) suggerisce di utilizzare la seguente correlazione, che lega la portata per attrito laterale ai risultati di una prova penetrometrica dinamica standard (SPT):

$$f_s = 0.002 N_{SPT} \text{ [MPa]}$$

Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pag. 31.

Nome del metodo di calcolo: "Meyerhof".

Alternativamente è possibile far riferimento alla relazione proposta da *De Beer* (1985), che lega la portata per attrito laterale ai risultati di una prova penetrometrica statica (CPT):

$$f_z = \frac{q_c}{200} \text{ se } q_c \geq 20 \text{ [MPa]}$$

$$f_z = \frac{q_c}{150} \text{ se } q_c \leq 10 \text{ [MPa]}$$

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pag. 363.

Nome del metodo di calcolo: "De Beer".

Da una serie di campagne con un numero di prove molto elevato, *Bustamante* e *Gianeselli* (1982) hanno ricavato delle correlazioni empiriche tra i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT) e le portate di pali di diverso tipo. Questo metodo di calcolo è spesso identificato con la sigla "LCPC", abbreviazione di Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

La portata per attrito laterale è ottenuta da una formula del tipo:  $f_z = q_c / k_s$ .

I valori di  $k_s$  sono tabellati secondo la natura del palo e del terreno:

Nature of Soil	$q_c / P_s$	Value of $k_s$				Maximum $q_c / P_s$					
		IA	IB	IIA	IIB	IA	IB	IIA	IIB	IIIA	IIIB
Soft clay and mud	<10	30	30	30	30	0.15	0.15	0.15	0.15	0.35	-
Moderately compact clay	10 to 50	40	80	40	80	0.35	0.35	0.35	0.35	0.8 ≤ 1.2	(0.8) (0.8) (0.8)
Silt and loose sand	≤ 50	60	150	60	120	0.35	0.35	0.35	0.35	0.8	-
Compact to stiff clay and compact chalk	> 50	60	120	60	120	0.35	0.35	0.35	0.35	0.8 ≤ 2.0	(0.8) (0.8) (0.8)
Soft chalk	≤ 50	100	120	100	120	0.35	0.35	0.35	0.35	0.8	-
Moderately compact sand and gravel	50 to 120	100	200	100	200	0.8	0.35	0.8	0.8	1.2 ≤ 2.0	(1.2) (0.8) (1.2)
Weathered to fragmented chalk	> 50	60	80	60	80	1.2	0.8	1.2	1.2	1.5 ≤ 2.0	(1.5) (1.2) (1.5)
Compact to very compact sand and gravel	>120	150	300	150	200	1.2	0.8	1.2	1.2	1.5 ≤ 2.0	(1.5) (1.2) (1.5)

$P_s$  = reference stress = 100 kPa = 0.1 MPa = 1 tsf

Type IA: Plain bored piles, mud bored piles, hollow auger bored piles, cast screwed piles, piers, barrettes, and micropiles installed with low injection pressure.

Type IB: Bored piles with steel casing and driven cast piles.

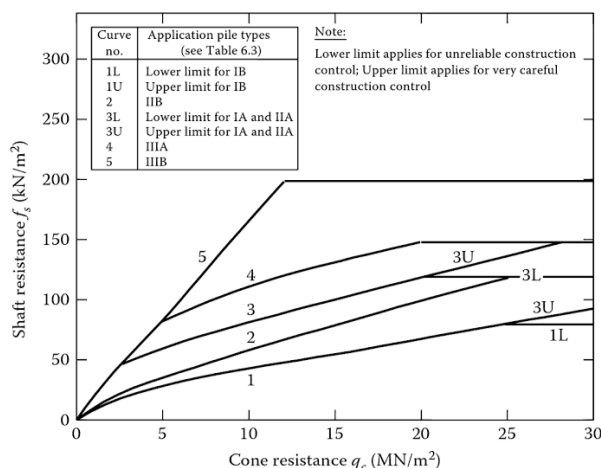
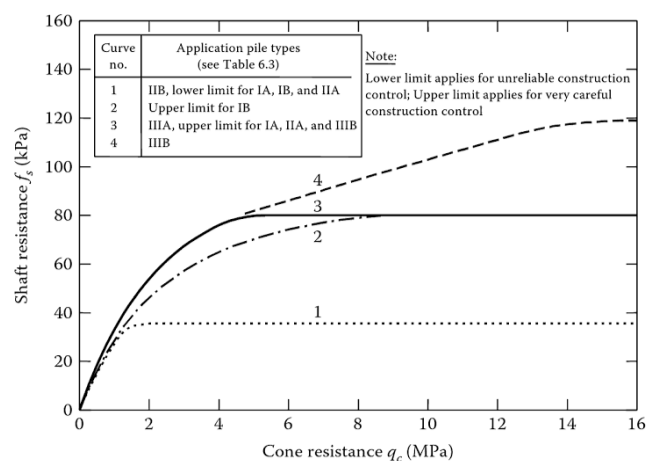
Type IIA: Driven or jacked precast piles and prestressed concrete piles.

Type IIB: Driven or jacked steel piles.

Type IIIA: Driven grouted piles and driven rammed piles.

Type IIIB: High pressure grouted piles with diameter greater than 250 mm and micropiles installed with high injection pressure.

Più recentemente, *Frank* e *Magnan* (1995), hanno riassunto il metodo con una serie di diagrammi, utilizzando una relazione del tipo  $f_z = q_c / b < f_{zL}$ , in cui  $f_{zL}$  è il limite superiore per l'attrito laterale, ottenendo due diagrammi per terreni sabbiosi/ghiaiosi e argillosi/limosi:

Relazione tra  $q_c$  e  $f_s$  per sabbie e ghiaieRelazione tra  $q_c$  e  $f_s$  per argille e limi

Pile category	Description
IA	Plain bored piles, mud bored piles, hollow auger bored piles, cast screwed piles Type I micropiles, piers, barrettes
IB	Cased bored piles Driven cast piles
IIA	Driven precast piles Pre-stressed tubular piles Jacked concrete piles
IIB	Driven steel piles Jacked steel piles
IIIA	Driven grouted piles Driven rammed piles
IIIB	High pressure grouted piles ( $d > 0.25$ m) Type II micropiles

Rif.: John SMALL, "Geomechanics in Soil, Rock, and Environmental Engineering", pag. 209.

Nome del metodo di calcolo: "LCPC".

### 1.1.2.1.2 Pali trivellati

#### 1.1.2.1.2.1 Dimensionamento in base a modelli teorici

La portata per attrito laterale viene valutata in termini di tensione efficace, con l'espressione generale:

$$Q_s = f_z A_s = (K \sigma'_{v0} \tan \delta) A_s$$

$K$  = coefficiente di spinta

$\delta$  = angolo di attrito palo - terreno

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace iniziale

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 362 – 363.

Nome del metodo di calcolo: "Generale".

Secondo Kulhavy (1983) il valore di  $\delta$  coincide con quello di  $\varphi'$  (angolo di resistenza al taglio) per un palo in calcestruzzo e varia da 0.5 a 0.9  $\varphi'$  nel caso di un palo tubolare in acciaio. Lo stesso Autore suggerisce di utilizzare un coefficiente di spinta  $K$  compreso fra 2/3 e 1.0  $K_0$  (coefficiente di spinta a riposo). L'espressione teorica attribuisce ad  $f_z$  una crescita lineare con la profondità, mentre prove sperimentali evidenziano un andamento di tipo asintotico. Dal punto di vista teorico tale fenomeno può essere giustificato osservando che l'aumento della tensione verticale efficace  $\sigma'_{v0}$  è in parte compensato dalla riduzione del coefficiente di spinta  $K$ , per effetti legati all'operazione di installazione del palo e per l'influenza della storia tensionale sul valore di  $K_0$ .

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 362 – 363.

Nome del metodo di calcolo: "Kulhavy".

Alternativamente, Reese e O'Neill (1989) suggeriscono di far riferimento alla seguente espressione:

$$f_z = \beta \sigma'_{v0} \leq 0.2 \text{ [MPa]}$$

$$\beta = 1.5 - 0.245\sqrt{z}$$

$z$  = approfondimento in metri

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pag. 365.

Nome del metodo di calcolo: "Reese o O'Neill".

#### 1.1.2.1.2.2 Dimensionamento in base a prove penetrometriche

Meyerhof (1976) suggerisce di utilizzare la seguente correlazione:

$$f_s = 0.001 N_{SPT} \text{ [MPa]}$$

con  $N_{SPT} < 60$

Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pag. 47.

Nome del metodo di calcolo: "Meyerhof".

Meardi (1983) fa invece riferimento al metodo di calcolo introdotto dal Mayer (1935), secondo cui la pressione che si instaura tra palo e terreno è uguale a quella provocata dal calcestruzzo semifluido durante il getto. Questa approssimazione si può considerare sufficientemente valida specialmente se si ha l'accorgimento di vibrare il getto.

$$f_z = \gamma_{cls} z \tan \phi'$$

$\gamma_{cls}$  = peso di volume del calcestruzzo

$z$  = approfondimento

$\phi'$  = angolo di resistenza al taglio del terreno

Se il palo è lungo, il calcestruzzo comincia a fare presa prima della fine del getto; di solito si suppone che solo 10 metri di palo si possano gettare prima dell'indurimento. In questo caso la parte di palo più profonda di 10 metri avrà tutta una pressione unitaria pari a  $10 \gamma_c$ . Con l'utilizzo di ritardanti di presa questo valore può essere sensibilmente aumentato. Quando il palo è sotto falda, il suo peso specifico si riduce a  $\gamma_c - \gamma_w$ , e di conseguenza diminuiscono la pressione palo – terreno e la portata.

Rif.: Guglielmo MEARDI, "Fondazioni su pali", pagg. 25 – 27.

Nome del metodo di calcolo: "Meardi".

Reese (1976) suggerisce di utilizzare la seguente correlazione:

$$f_s = 0.0026 N_{SPT} \text{ [MPa]}$$

con  $N_{SPT} < 50$

Si suggerisce di utilizzare i valori di Reese solo nel caso di pali trivellati di grande diametro eseguiti in condizioni di controllo molto attento da un'impresa di riconosciuta perizia, altrimenti vanno utilizzati i valori di Meyerhof.

Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pag. 47.

Nome del metodo di calcolo: "Reese".

#### 1.1.2.1.3 Micropali

In questa definizione ricadono i pali di piccolo diametro (diametro perforazione generalmente fino a 25 cm, sovente inferiore) realizzati mediante perforazione del terreno, installazione di un'armatura e getto di



microcalcestruzzo in pressione. La perforazione del foro può avvenire con diverse tecniche: se si sostiene lo scavo con un fluido, è raccomandata l'esecuzione con circolazione diretta. Nella pratica sono utilizzate diverse tecniche di iniezione e diverse tipologie di armatura. La modalità esecutiva influenza notevolmente il valore della portata del micropalo (modalità di iniezione, "sbulbature" del terreno, ampiezza della zona iniettata, diametro di perforazione, ecc.), perciò si ricorre inevitabilmente a valutazioni di tipo empirico. Si tratta di una tecnologia costruttiva relativamente giovane, e non esiste un riferimento globale che ne inquadri completamente i vari aspetti di progetto e verifica. Un riferimento normativo tra i più autorevoli per quanto riguarda i micropali, è la norma americana FHWA NHI-05-039. Essa propone un riferimento per la classificazione e il suggerimento di alcuni parametri progettuali:

- **Micropalo Tipo A**, gettato senza eccesso di pressione (**colatura per gravità**)

Il foro può essere non rivestito, rivestito temporaneamente o permanentemente (il tubolare svolgerà funzione di rinforzo del micropalo completato). La malta (tipicamente con rapporto a/c tra 0,45 e 0,5 se solo cemento, o fino a 0,6 se proporzione sabbia cemento tra 1:1 e 2:1) viene messa in opera dal fondo del foro, riempiendolo senza applicare nessuna pressione supplementare, utilizzando un tubo convogliatore. Il getto viene interrotto quando malta della stessa qualità di quella posta in opera esce liberamente dalla testa del foro.

- **Micropalo Tipo B**, malta pressurizzata durante l'estrazione del rivestimento (**palo Radice**)

Il foro deve essere necessariamente rivestito: dopo la prima fase di getto, eseguita come per il tipo A, si applica una testa a tenuta al rivestimento e si immette aria compressa per pressurizzare la malta e forzare il calcestruzzo contro il terreno. La pressione è tipicamente nell'intervallo 0.5 MPa – 1.0 MPa. La massima pressione può essere stimata come 20 kPa per metro in caso di terreni sciolti e 40 kPa per metro in caso di terreni densi. Il rivestimento può essere parzialmente sfilato prima dell'iniezione per ancorare il micropalo solo agli strati competenti.

- **Micropalo Tipo C**, iniezione di malta con l'uso di valvole una sola volta (**IGU**)

Di solito il foro è rivestito temporaneamente o non rivestito. La malta (tipicamente con rapporto a/c tra 0.5 e 0.75 per garantire una buona fluidità) è applicata in un primo momento come per il tipo A. Pochi minuti dopo questa prima fase, tramite valvole di non ritorno viene iniettata malta in pressione, permettendo di formare delle sbulbature. La pressione di iniezione è maggiore di 1.0 MPa.

- **Micropalo Tipo D**, iniezione di malta con l'uso di valvole multiple volte (**IRS o Tubfix**)

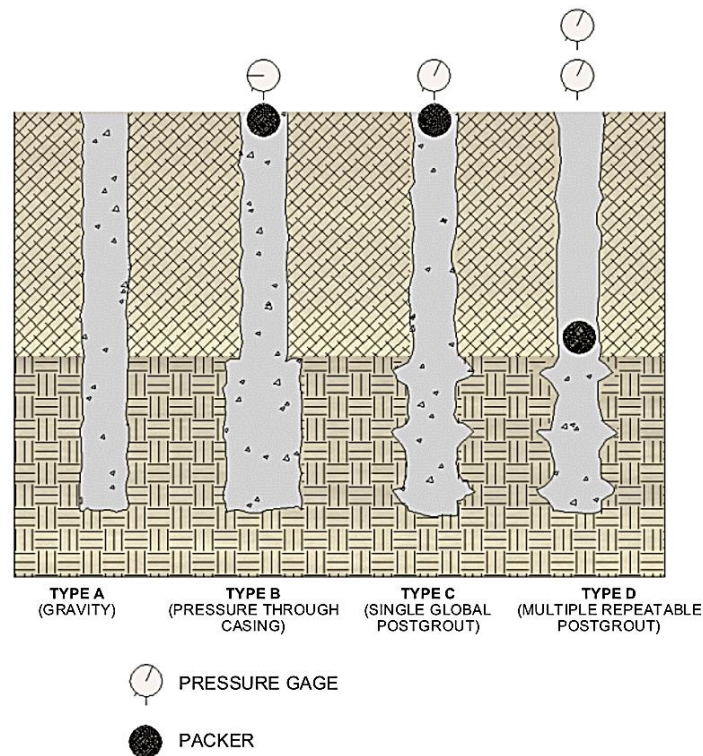
Questo tipo di micropalo riesce a garantire le portate più significative. Nella prima fase la malta viene posta in opera come per il tipo A. Per la fase di iniezione, le imprese hanno sviluppato diverse tecniche esecutive, attrezzando il foro in vari modi. In ogni caso c'è la presenza di un rinforzo e di valvole di non ritorno, tramite cui viene iniettata malta in pressione (tipicamente con rapporto a/c tra 0,5 e 0,75 per garantire una buona fluidità). L'iniezione avviene qualche ora dopo la prima fase di getto ed è caratterizzata da pressioni molto alte (da 2.0 MPa a 8.0 MPa), affinché il calcestruzzo primario si rompa e si formino le sbulbature. Questa operazione viene ripetuta diverse volte, tante quante necessarie per raggiungere l'ancoraggio del micropalo, attendendo 24 ore tra le diverse iniezioni.

Tipo di micropalo e metodologia di getto	Sottotipo	Rivestimento	Rinforzo	Messa in opera
<b>TIPO A</b> Getto senza eccesso di pressione	A1	Temporaneo o assente	Nessuno, barre, piccola gabbia o tubolare	Cemento e sabbia o cemento pompato senza eccesso di pressione dal fondo del foro mantenendo il tubo convogliatore sempre annegato nella malta precedentemente gettata
	A2	Permanente, sull'intera lunghezza del foro	Il rivestimento stesso	
	A3	Permanente, solo sulla parte superiore del foro	Il rivestimento stesso nella parte superiore, barre o tubolare nella parte inferiore	

<b>TIPO B</b> Pressurizzato grazie al rivestimento durante la sua rimozione	B1	Temporaneo	Barre o tubolare	Prima fase: cemento posto in opera come per micropalo A. Seconda fase: tramite testa a tenuta applicata al rivestimento è applicata una pressione (fino a 1 Mpa). Contemporaneamente il rivestimento viene sfilato (parzialmente o del tutto)
	B2	Permanente, solo sulla parte superiore del foro	Il rivestimento stesso	
	B3	Permanente, solo sulla parte superiore del foro	Il rivestimento stesso nella parte superiore, barre o tubolare nella parte inferiore	

<b>TIPO C</b> Dopo la prima fase di getto, iniezione in pressione una sola volta, globalmente	C1	Temporaneo o assente	Barre o tubolare	Prima fase: cemento posto in opera come per micropalo A. Seconda fase: circa un quarto d'ora dopo la prima fase, iniezione ad almeno 1 Mpa di ulteriore malta tramite valvole di non ritorno con cui si è attrezzato preventivamente il foro (diverse tecniche)
--	----	----------------------	------------------	--

<b>TIPO D</b> Dopo la prima fase di getto, iniezione in pressione multiple volte	D1	Temporaneo o assente	Barre o tubolare	Prima fase: cemento posto in opera come per micropalo A. Seconda fase: diverse ore dopo la prima fase, iniezione ad almeno 2 Mpa di ulteriore malta, tramite valvole di non ritorno con cui si è attrezzato preventivamente il foro (diverse tecniche). La seconda fase viene ripetuta diverse volte, attendendo 24 ore tra le iniezioni
	D2	Permanente su tutto il foro (raro), tubo per iniezione secondaria fuori dal rivestimento	Il rivestimento stesso	
	D3	Permanente, solo sulla parte superiore del foro	Il rivestimento stesso nella parte superiore, barre o tubolare nella parte inferiore	



#### 1.1.2.1.3.1 Metodo di Bustamante e Doix

Le raccomandazioni di Bustamante e Doix (1985) possono essere riassunte come segue.

Il diametro del bulbo di calcestruzzo iniettato  $d_{in}$  viene valutato con la seguente relazione:

$$d_{in} = 1.5d_{perf} \text{ (iniezioni ripetute e selettive)}$$

$$d_{in} = 1.15d_{perf} \text{ (iniezione unica)}$$

dove  $d_{perf}$  è il diametro di perforazione.

Per ottenere tale diametro è consigliato iniettare una quantità minima di miscela pari a:

$$V = 1.5 \frac{\pi d_{in}^2}{4} l_{in}$$

dove  $d_{in}$  è il diametro di iniezione precedentemente valutato e  $l_{in}$  è la lunghezza della zona iniettata.

Il valore limite della tensione tangenziale lungo il bulbo  $f_s$  viene valutato secondo la seguente relazione empirica:

$$f_s = \frac{p_{lim}}{10} = \frac{N_{SPT}}{20} p_a = \frac{q_c}{100}$$

dove  $p_{lim}$  è il valore della pressione limite valutata con pressimetro Ménard,  $N_{SPT}$  e  $q_c$  sono i risultati di prove SPT e CPT, ed infine  $p_a$  è il valore della pressione atmosferica di riferimento.

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 389 – 392.

Nome del metodo di calcolo: "Bustamante e Doix".

#### 1.1.2.2 Terreni coesivi

##### 1.1.2.2.1 Pali infissi

##### 1.1.2.2.1.1 Metodo $\alpha$ (in termini di tensioni totali)

La portata per attrito laterale viene valutata in funzione della resistenza al taglio non drenata  $s_u$ :

$$Q_s = f_s A_s = (\alpha s_u) A_s$$

$A_s$  = area della superficie laterale

$\alpha$  = coefficiente empirico

Secondo *Olson e Dennis* (1982) il valore di  $\alpha$  assume l'espressione:

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{s_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}} \text{ se } \frac{s_u}{\sigma'_{v0}} \leq 1$$

$$\alpha = \frac{0.5}{\left(\frac{s_u}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.25}} \text{ se } \frac{s_u}{\sigma'_{v0}} \geq 1$$

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 355 – 356.

Nome del metodo di calcolo: "Metodo alfa".

#### 1.1.2.2.1.2 Metodo $\beta$ (in termini di tensioni efficaci)

*Zeevaert* (1959), *Eide* (1961) e *Chandler* (1961) suggeriscono di valutare la portata per attrito laterale con l'espressione:

$$Q_s = f_s A_s = (\sigma'_h \tan \delta) A_s = (K \sigma'_{v0} \tan \delta) A_s$$

$K$  = coefficiente di spinta

$\sigma'_h$  = tensione orizzontale efficace (alla rottura)

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace iniziale

$\delta$  = angolo di attrito palo - terreno

Il coefficiente di spinta  $K$  correla la tensione orizzontale efficace all'istante di rottura con la tensione verticale efficace iniziale.

*Burland* (1973) suggerisce di porre  $K = K_0$  (coefficiente di spinta a riposo) e  $\delta = \varphi'$  (angolo di resistenza al taglio). Sostituendo nella formula generale si ottiene l'espressione  $Q_s = (\beta \sigma'_{v0}) A_s$  con  $\beta$  avente valori usualmente oscillanti nell'intervallo 0.24 – 0.29 (per  $\varphi'$  compreso fra 20° – 30°).

Nel caso di argille consistenti *Flaate* e *Selnes* (1977) suggeriscono di utilizzare il coefficiente di spinta a riposo che compete al materiale preconsolidato  $K = K_{0(NC)} \cdot OCR^{0.5}$ .

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 356 – 357.

Nome del metodo di calcolo: "Metodo beta".

#### 1.1.2.2.2 Pali trivellati

##### 1.1.2.2.2.1 Metodo $\alpha$ (in termini di tensioni totali)

La portata per attrito laterale viene valutata in funzione della resistenza al taglio non drenata  $s_u$ :

$$Q_s = f_s A_s = (\alpha s_u) A_s$$

$A_s$  = area della superficie laterale

$\alpha$  = coefficiente empirico

Secondo *Skempton* (1969) il valore dell'aderenza palo – terreno è fondamentalmente governato dalla resistenza al taglio del materiale rammollito (aumento del contenuto d'acqua in seguito allo scarico pensionale dovuto alla perforazione) per cui  $\alpha$  assume valori variabili fra 0.3 e 0.6 con valore medio 0.45.

Secondo *Stas e Kulhavy* (1984) il valore di  $\alpha$  assume l'espressione:

$$\alpha = 0.21 + 0.26 \frac{p_a}{s_u}$$

$p_a$  = pressione atmosferica

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 355 – 356.

Nome del metodo di calcolo: "Metodo alfa".

#### 1.1.2.2.2 Metodo $\beta$ (in termini di tensioni efficaci)

La portata per attrito laterale viene valutata con l'espressione:

$$Q_s = f_s A_s = (\sigma'_h \tan \delta) A_s = (K \sigma'_{v0} \tan \delta) A_s$$

$K$  = coefficiente di spinta

$\sigma'_h$  = tensione orizzontale efficace (alla rottura)

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace iniziale

$\delta$  = angolo di attrito palo - terreno

*Fleming* (1985) suggerisce di calcolare il coefficiente di spinta  $K$  con la relazione:

$$K = \frac{1 + K_0}{2}$$

per tenere conto dello scarico tensionale dovuto alla trivellazione, i cui effetti negativi sulle caratteristiche meccaniche del terreno vengono solo in parte annullati in seguito al getto del calcestruzzo.

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Fondazioni", pagg. 356 – 359.

Nome del metodo di calcolo: "Metodo beta".

#### 1.1.2.2.3 Micropali

In questa definizione ricadono i pali di piccolo diametro (diametro perforazione generalmente fino a 25 cm, sovente inferiore) realizzati mediante perforazione del terreno, installazione di un'armatura e getto di microcalcestruzzo in pressione.

##### 1.1.2.2.3.1 Metodo di Bustamante e Doix

Le raccomandazioni di Bustamante e Doix (1985) possono essere riassunte come segue.

Il diametro del bulbo di calcestruzzo iniettato  $d_{in}$  viene valutato con la seguente relazione:

$$d_{in} = 1.5 \div 2.0 d_{perf} \text{ (iniezioni ripetute e selettive)}$$

$$d_{in} = 1.2 d_{perf} \text{ (iniezione unica)}$$

dove  $d_{perf}$  è il diametro di perforazione.

Per ottenere tale diametro è consigliato iniettare una quantità minima di miscela pari a:

$$V = 1.5 \div 2.0 \frac{\pi d_{in}^2}{4} l_{in} \text{ (iniezione unica)}$$

$$V = 2.5 \div 3.0 \frac{\pi d_{in}^2}{4} l_{in} \text{ (iniezione ripetuta e selettiva)}$$

dove  $d_{in}$  è il diametro di iniezione precedentemente valutato e  $l_{in}$  è la lunghezza della zona iniettata.

Il valore limite della tensione tangenziale lungo il bulbo  $f_s$  viene valutato secondo la seguente relazione empirica:

$$f_s = 0.033 + 0.067 p_{\text{lim}} = 0.033 + 0.67 s_u \text{ [MPa]} \text{ (iniezione unica)}$$

$$f_s = 0.095 + 0.085 p_{\text{lim}} = 0.095 + 0.85 s_u \text{ [MPa]} \text{ (iniezioni ripetute e selettive)}$$

dove  $p_{\text{lim}}$  è il valore della pressione limite valutata con pressimetro Ménard,  $s_u$  è la resistenza al taglio non drenata. Tale relazione si applica per valori di  $p_{\text{lim}}$  superiori a 0.5 MPa, per valori inferiori (argille tenere) ci si riferisce alla retta che collega l'estremo corrispondente a tale limite con l'origine.

Rif.: Renato LANCELOTTO, "Fondazioni", pagg. 389 – 392.

Nome del metodo di calcolo: "Bustamante e Doix".

### 1.1.2.3 Roccia

Nel caso di pali incastrati o infissi in roccia (previa asportazione di tutto il terreno rimaneggiato dalla zona di incastro) è possibile ammettere che parte del carico venga ceduto al terreno lungo il fusto. In molti casi il fattore determinante nella determinazione dell'attrito limite è rappresentato dalla resistenza del calcestruzzo costituente il palo. Sulla base delle poche evidenze disponibili (Thorne, 1977) sembra ragionevole adottare un valore dell'attrito limite ammissibile pari al minimo fra  $0.05f_c$  e  $0.05q_{um}$ , dove  $f_c$  è la resistenza a compressione ultima del calcestruzzo e  $q_{um}$  è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta, che può essere tratta dal seguente compendio di proprietà tipiche delle rocce (Peck, 1969):

Roccia	$q_{um}$ [MPa]	
Basalto	199	462
Granito	69	267
Quarzite	110	309
Calcare	16.9	196
Marmo	54.5	186
Arenaria	33.8	138
Argilloscisto	47.9	214
Argillite	3.4	44.8
Calcestruzzo	13.8	34.5

Nel caso di rocce notevolmente fratturate, è più ragionevole ricorrere a valori di attrito limite compresi fra 75 e 150 kPa.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 42 – 43.

Nome del metodo di calcolo: "Roccia".

### 1.1.2.4 Raccomandazioni AGI

La portata laterale di un palo in terreni incoerenti (ghiaie, sabbie), può essere calcolata con la seguente espressione generale, in termini di tensioni efficaci:

$$Q_s = \sum q_{s,i} A_{s,i} = \sum \mu_i \cdot k_i \cdot \sigma'_{v,i} \cdot A_{s,i}$$

$A_{s,i}$  = area laterale i-esima

$\sigma'_{v,i}$  = tensione verticale efficace alla quota di calcolo i-esima

$\mu$  = coefficiente di attrito terreno-palo

$k$  = rapporto tra tensione orizzontale e verticale i-esima

I valori di  $k$  e di  $\mu$  da utilizzare sono riassunti dalla seguente tabella:

Tipo di palo		$k$	$\mu$
Infisso	acciaio	0.5 ÷ 1.0	$\tan 20^\circ$
	cls prefabbricato	1.0 ÷ 2.0	$\tan (3/4 \varphi')$
	cls in opera	1.0 ÷ 3.0	$\tan \varphi'$
Trivellato		0.4 ÷ 0.7	$\tan \varphi'$

La portata laterale di un palo in terreni coesivi (limi, argille), può essere calcolata con la seguente espressione generale:

$$Q_s = \sum q_{s,i} A_{s,i}$$

$A_{s,i}$  = area laterale i-esima

$q_{s,i}$  = adesione palo-terreno alla quota di calcolo i-esima

Il valore di  $q_s$  da utilizzare si ricava dalla seguente tabella, in funzione della resistenza al taglio non drenata  $s_u$ :

Pali	Materiale	$s_u$ [kPa]	$q_s$ [kPa]	$q_{s,max}$ [kPa]
Infissi	Cls	fino a 25	$s_u$	120
		25 ÷ 50	$0.85 s_u$	
		50 ÷ 75	$0.65 s_u$	
		più di 75	$0.50 s_u$	
	Acciaio	fino a 25	$s_u$	100
		25 ÷ 50	$0.80 s_u$	
		50 ÷ 75	$0.65 s_u$	
		più di 75	$0.50 s_u$	
Trivellati	Cls	fino a 25	$0.90 s_u$	100
		25 ÷ 50	$0.80 s_u$	
		50 ÷ 75	$0.60 s_u$	
		più di 75	$0.40 s_u$	

In alternativa, si può condurre un'analisi in termini di tensioni efficaci, almeno nel caso di argille normalmente consolidate, per cui si può porre:

$$q_s = (1 - \sin \varphi') \cdot \tan \varphi' \cdot \sigma'_v$$

$\varphi'$  = angolo di resistenza al taglio

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace

Rif.: Associazione Geotecnica Italiana, "Raccomandazioni sui pali di fondazione", pagg. 19 – 24.

Nome del metodo di calcolo: "AGI".

## 1.2 Cedimenti corrispondenti al carico limite

La relazione fra carico ultimo e relativo cedimento del palo viene generalmente espressa tramite una **curva di trasferimento**. Sono comunque presenti in letteratura espressioni analitiche più complesse.

### 1.2.1 Cedimenti corrispondenti alla portata limite di base

L'entità del cedimento  $s$  necessario per mobilitare la portata limite di base dipende dal diametro  $D$  e dalla tipologia del palo. In genere si usa definire il cedimento necessario alla completa mobilitazione della portata come percentuale del diametro  $D$  del palo. Nel caso di **pali infissi**, una stima del valore del cedimento è rappresentata dalla relazione  $s = 0.08 - 0.10 D$ . Per i **pali trivellati**, una stima del valore del cedimento è rappresentata dalla relazione  $s = 0.25 - 0.30 D$ . Alcuni metodi di calcolo forniscono una portata limite di base corrispondente ad un rapporto  $s/D$  ben determinato.

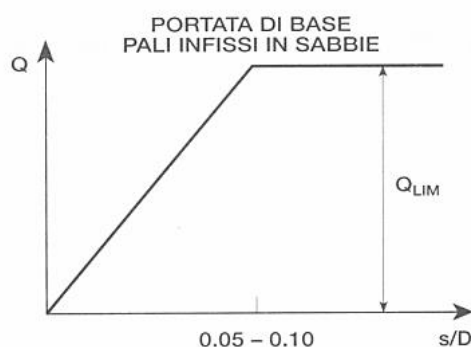
Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pagg. 11, 20 – 21, 37.

#### 1.2.1.1 Terreni non coesivi

Per terreni non coesivi si possono utilizzare i seguenti diagrammi.

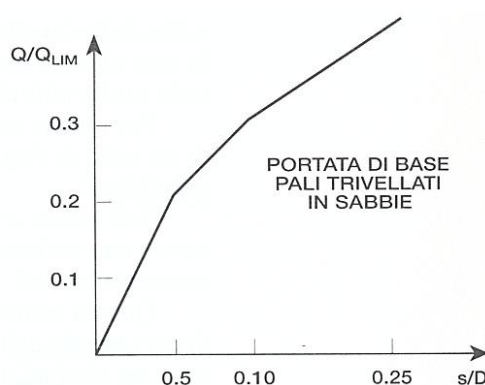
##### 1.2.1.1.1 Pali infissi

Coyle e Reese (1966) suggeriscono il seguente diagramma:



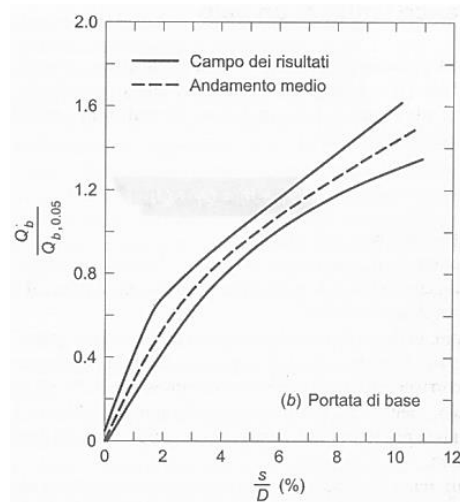
##### 1.2.1.1.2 Pali trivellati

Coyle e Reese (1966) suggeriscono il seguente diagramma:



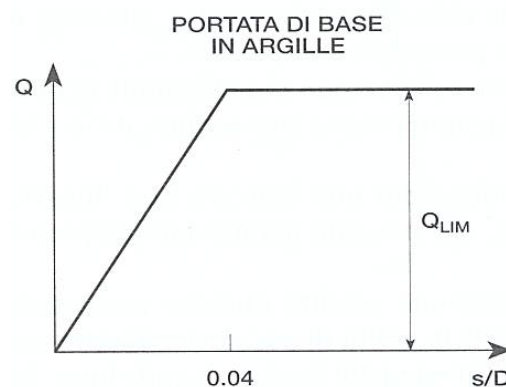
Reese e O'Neill (1989) suggeriscono il seguente diagramma:





### 1.2.1.2 Terreni coesivi

Per terreni coesivi, *Coyle e Reese (1966)* suggeriscono il seguente diagramma:



### 1.2.2 Pali sottoposti a trazione

Per i pali sottoposti a trazione, la resistenza è data da:

$$Q_u = Q_s + W$$

$$Q_s = \int_{A_s} f_z dA_s = f_s A_s$$

$f_z$  = portata unitaria laterale limite alla quota  $z$

$A_s$  = area laterale

$f_s$  = valore medio della portata unitaria laterale limite

$W$  = peso del palo

I metodi di calcolo per la portata laterale unitaria in trazione, possono essere gli stessi utilizzati per la compressione. Dalle prove empiriche svolte, si ricava che la resistenza a sfilamento tende ad essere leggermente inferiore di quella in compressione, perciò si consiglia, cautelativamente, una riduzione di 2/3 della resistenza laterale di calcolo per carichi di trazione.

Un notevole incremento di resistenza può essere ottenuto creando un allargamento lungo il fusto o alla base. In questo caso, l'attrito laterale lungo il fusto ha scarsa influenza, o al limite nessuna influenza, sulla resistenza a sfilamento.

Secondo *Meyerhof* ed *Adams* (1968), la resistenza a breve termine di un allargamento, per un palo in argilla (in condizioni non drenate) può essere valutata con l'espressione seguente:

$$R_a = \frac{\pi(d_b^2 - d_s^2)}{4} s_u N_u$$

$d_b$  = diametro dell'allargamento

$d_s$  = diametro del fusto

$s_u$  = resistenza al taglio non drenata

$N_u$  = coefficiente di sfilamento

Il valore di  $N_u$  può essere assunto circa pari al coefficiente di capacità portante  $N_c$  utilizzato per la compressione, usualmente posto pari a 9.

Per terreni sciolti, o in generale per materiali dotati di attrito e coesione, secondo *Ghaly* e *Hanna* (1994) e *Ghaly* e *Clemence* (1998) la resistenza a sfilamento di un allargamento può essere valutata con la seguente espressione:

$$R_a = \frac{Q_u}{\frac{2}{3}\alpha}$$

$Q_u$  = carico ultimo di ancoraggio verticale

$\alpha$  = inclinazione rispetto alla verticale

Per ancoraggi superficiali, vale la seguente espressione:

$$Q_u = W_{ss} + F_{ss}$$

$W_{ss} = \gamma H^3 FW_{ss}$  (contributo del peso di terreno)

$F_{ss} = \gamma H^3 FF_{ss}$  (contributo delle forze di taglio)

dove  $\gamma$  è il peso di volume di terreno,  $H$  è la profondità dell'allargamento, mentre  $FW_{ss}$  e  $FF_{ss}$  sono coefficienti dipendenti dal rapporto tra  $H/B$  ( $B$  = diametro dell'allargamento) e dall'angolo di resistenza al taglio del terreno  $\phi$ .

Per ancoraggi profondi, vale un'espressione analoga:

$$Q_u = W_{ds} + F_{ds} + P_{ds}$$

$W_{ds} = \gamma h^3 FW_{ds}$  (contributo del peso di terreno)

$F_{ds} = \gamma h^3 FF_{ds}$  (contributo delle forze di taglio)

$P_{ds} = \gamma \pi R_T^2 (H - h)$  (contributo del sovraccarico)

dove  $h$  è l'altezza del bulbo (funzione di  $\phi$ ),  $FW_{ds}$  e  $FF_{ds}$  sono coefficienti analoghi a  $FW_{ss}$  e  $FF_{ss}$ ,  $R_T$  è un coefficiente funzione di  $\phi$ .

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 47 – 50.

A. Ghaly, S. Clemence "Pullout Performance of Inclined Helical Screw Anchors in Sand", ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 124, No. 7, 1998, pagg. 617 – 62.

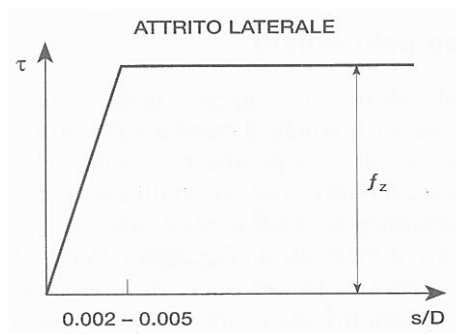
A. Ghaly, A. Hanna "Ultimate Pullout Resistance of Single Vertical Anchors", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, No. 5, 1994, pagg. 661 - 672.

### 1.2.3 Cedimenti corrispondenti alla portata limite per attrito laterale

La piena mobilitazione della resistenza laterale richiede uno spostamento relativo tra il palo ed il terreno circostante di circa 5 – 15 mm, indipendente dalle dimensioni del palo.

Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pag. 11.

Coyle e Reese (1966) suggeriscono il seguente diagramma:



### 1.3 Resistenza limite laterale di un palo

Nel caso di terreni puramente coesivi, è possibile ammettere che la portanza limite assiale del palo sia indipendente dalla componente laterale e viceversa. In un terreno non coesivo, al contrario, il valore della portata assiale limite del palo sarà influenzato dalla componente laterale del carico, che causa un incremento della resistenza laterale.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 161 – 163.

#### 1.3.1.1 Terreni non coesivi

Nel caso di un terreno non coesivo è possibile fare riferimento ai suggerimenti di *Brinch Hansen* (1961), mutuata dalla teoria della spinta dei terreni. In questo caso la variazione della resistenza limite laterale con la profondità lungo il palo assume l'espressione  $p_u = qK_q + cK_c$ , dove  $q$  è la pressione verticale litostatica,  $c$  la coesione ed i coefficienti  $K_c$  e  $K_q$  sono funzioni dell'angolo di attrito  $\varphi$  e del rapporto  $z/D$ .

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 152 – 153.

Nome del metodo di calcolo: "Brinch Hansen".

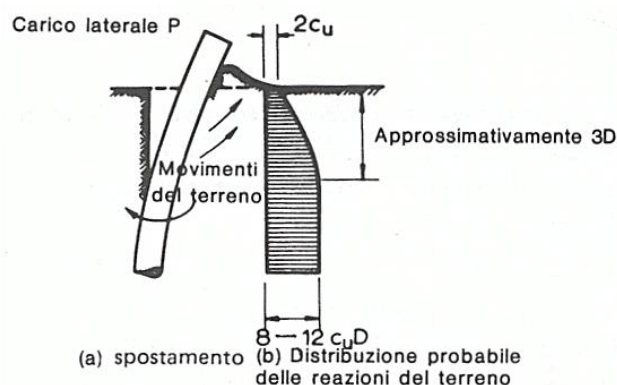
Nel caso di terreno non coesivo, *Broms* (1964) propone una distribuzione di resistenza ultima pari a tre volte la pressione di resistenza passiva valutata secondo la teoria di Rankine.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 153 – 156.

Nome del metodo di calcolo: "Broms".

#### 1.3.1.2 Terreni coesivi

Nel caso di un terreno puramente coesivo, si può assumere un andamento asintotico della resistenza laterale limite  $p_u$ , come illustrato nella figura seguente:



Il valore di  $p_u$  cresce fino ad una profondità pari a circa 3 diametri, per poi restare costante. Il valore limite della resistenza laterale è proporzionale alla resistenza al taglio non drenata  $s_u$  tramite il coefficiente di resistenza laterale  $K_c$ , che dipende dalla sezione del palo e dall'adesione al terreno.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pag. 152.

Nome del metodo di calcolo: "Coesivo".

Nel caso di terreno coesivo, Broms (1964) propone una distribuzione di  $p_u$  che vede un tratto nullo per i primi 1.5D dalla superficie seguito da un tratto con valore di resistenza pari a  $9s_u$  per profondità maggiori.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 153 – 156.

Nome del metodo di calcolo: "Broms".

## 1.4 Modulo di reazione orizzontale

Utilizzando un modello di terreno alla Winkler, si fa l'ipotesi che il legame tra la pressione  $p$  e lo spostamento  $s$  in un punto sia espressa dalla relazione

$$p = k_h \cdot s$$

in cui  $k_h$  (forza/lunghezza<sup>3</sup>) è il coefficiente di sottofondo. Nel caso di un palo, si fa più frequentemente riferimento all'espressione:

$$w = K_h \cdot s = k_h \cdot D \cdot s$$

in cui  $w$  è la reazione del terreno per unità di lunghezza, e  $K_h$  (forza/lunghezza<sup>2</sup>) è il modulo di reazione orizzontale dato dal prodotto di  $k_h$  per  $D$ , dove  $D$  è il diametro del palo.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 170 – 180.

Palmer e Thompson (1948) propongono che la distribuzione di  $k_h$  lungo il fusto del palo sia data dalla seguente espressione:

$$k_h = k_L \left( \frac{z}{L} \right)^n$$

in cui  $k_L$  è il valore di  $k_h$  alla base del palo,  $L$  è la lunghezza del palo,  $z$  la quota,  $n$  un esponente che dipende dal tipo di terreno.

Per  $k_h$ , sono presenti in letteratura tecnica molte indicazioni di valori "medi" secondo la litologia.

Secondo Davisson e Prakash (1963), il valore di  $n$ , per le argille, varia da 0 a 0.15.

Secondo Reese e Matlock (1956), per sabbia (o argilla molle), il valore di  $n$  può essere assunto pari a 1.0.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 170 – 180.

Nome del metodo di calcolo: "Palmer e Thompson".

Numerosi autori suggeriscono che in molti casi la distribuzione di  $k_h$  lungo il fusto del palo sia assunta costante, o meglio crescente linearmente con la profondità, per tener conto del cedimento del terreno e della non linearità.

Per  $k_h$ , è opportuno adottare opportuni valori secanti (peraltro reperibili in letteratura tecnica).

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 170 – 180.

Nome del metodo di calcolo: "Lineare".

## 1.5 Comportamento dei pali in gruppo

L'interazione fra i pali costituenti una fondazione fa sì che il cedimento complessivo sia diverso da quello del singolo palo e la portata totale non sia pari alla somma delle singole portate.

Rif.: Renato LANCELLOTTA, "Geotecnica", pagg. 489 – 490.

Si definisce **fattore di efficienza** il rapporto fra la portata della palificata e la somma delle portate dei singoli pali:

$$\eta = \frac{\text{carico limite del gruppo}}{\text{somma dei carichi limite dei pali singoli}}$$

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, “Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali”, pag. 32.

#### 1.5.1.1 Terreni non coesivi

Dai pochi dati presenti in letteratura riguardanti prove di carico su gruppi di pali in sabbia emerge che nel caso di **pali infissi**, per effetto della compattazione del terreno in seguito all’installazione dei pali, la capacità portante della palificata è superiore alla somma delle singole portate. Al contrario, nel caso di **pali trivellati**, il disturbo provocato dallo scavo può provocare una riduzione della portata totale.

Secondo Meyerhof (1976) conviene conservativamente trascurare l’incremento di carico nel primo caso (pali infissi), assumendo come portata totale limite la somma delle portate dei singoli pali costituenti la fondazione, mentre occorre tener presente che nel secondo caso (pali trivellati) la portata limite dell’intera fondazione può decrescere fino ai 2/3 della somma delle portate dei singoli pali.

Rif.: Renato LANCELLOTTA, “Geotecnica”, pag. 490.

#### 1.5.1.2 Terreni coesivi

Il valore dell’interasse fra i pali gioca un ruolo decisivo nella valutazione della portata limite complessiva.

Secondo le esperienze di Whitaker (1957), nel caso di pali collegati in testa da un plinto che non interagisce col terreno:

- Per valori di interasse superiori a circa 3 volte il diametro del singolo palo la rottura della fondazione avviene in seguito al raggiungimento del carico critico dei singoli pali.
- Per distribuzioni più fitte (interassi pari a 2 – 3 volte il diametro del singolo palo), la palificata si comporta come un singolo blocco, la cui capacità portante va valutata considerando la fondazione equivalente di pari perimetro.

Tali esperienze dimostrano che, nel caso di plinto non collaborante col terreno, il fattore di efficienza vale 0.6 – 0.8 per interassi da due a quattro volte il diametro dei pali, e tende all’unità per interassi pari a 8 diametri.

Nel caso in cui il plinto sia collaborante col terreno va considerato lo schema di rottura che compete alla palificata come blocco unico, e nella valutazione della capacità portante si deve tener conto delle dimensioni individuate dal perimetro esterno della palificata.

In questo caso la capacità portante limite può essere valutata con l’espressione suggerita da Skempton (1951):

$$q_{lim} = s_u \left( 2 + \pi \right) \left( 1 + 0.2 \frac{B}{L} \right) \left( 1 + \frac{D}{12B} \right)$$

$$\left( 1 + \frac{D}{12B} \right) \leq 1.5$$

B, L = dimensioni della palificata (L > B)

D = approfondimento del piano di posa (= lunghezza dei pali)

$s_u$  = resistenza al taglio non drenata alla base dei pali

Rif.: Renato LANCELLOTTA, “Geotecnica”, pagg. 489 – 490.

Secondo Terzaghi e Peck (1948) la portanza del gruppo corrisponde al valore minore fra la somma dei carichi limite dei pali singoli ed il valore di collasso del blocco  $P_B$ , quest’ultimo valutato come segue:

$$P_B = s_{u,b} B L N_c + 2 s_{u,s} (B + L) D$$

B, L = dimensioni della palificata (L>B)

$s_{u,b}$  = resistenza al taglio non drenata alla base dei pali

$s_{u,s}$  = resistenza al taglio non drenata laterale media

D = approfondimento del piano di posa (= lunghezza dei pali)

$N_c$  = fattore di capacità portante alla profondità D (Skempton)

Il passaggio tra il fenomeno di collasso per cedimento dei pali singoli a quello per cedimento del blocco non è brusco, Poulos e Davis propongono di valutare il fattore di efficienza secondo la seguente relazione empirica:

$$\frac{1}{\eta^2} = 1 + \frac{n^2 P^2}{P_B^2}$$

$P_B$  = carico limite del blocco

n = numero di pali nel gruppo

P = carico limite del palo singolo

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 32 – 33.

### 1.5.1.3 Il metodo dei fattori di interazione

Questo metodo si basa sulla definizione di fattore di interazione:

$$\alpha = \frac{\text{cedimento aggiuntivo causato dal palo adiacente}}{\text{cedimento del palo sottoposto al suo stesso carico}}$$

In pratica i fattori  $\alpha$ , che dipendono da numerose variabili, permettono di calcolare il cedimento aggiuntivo che un palo subisce a causa del cedimento di altri pali ad esso adiacenti. Secondo gli Autori, questo metodo può essere esteso a qualsiasi tipo di gruppo di pali, anche non simmetrico e con pali di diversa forma o geometria, applicando la sovrapposizione degli effetti, secondo la seguente espressione:

$$\rho_k = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n (\rho_{1j} P_j \alpha_{kj}) + \rho_{1k} P_k$$

$\rho_{1j}$  = cedimento del palo j sotto carico unitario

$\alpha_{kj}$  = fattore di interazione tra i pali k e j

Su questa espressione si può specificare quanto segue:

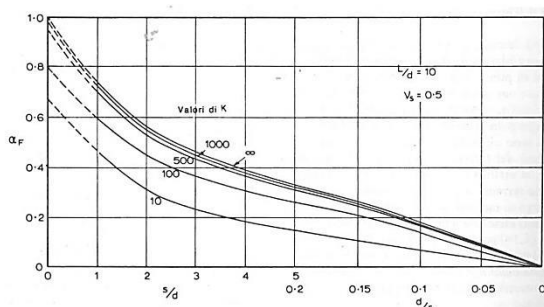
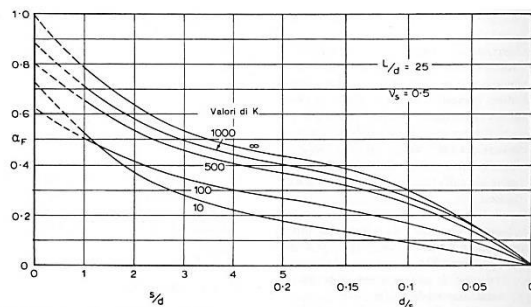
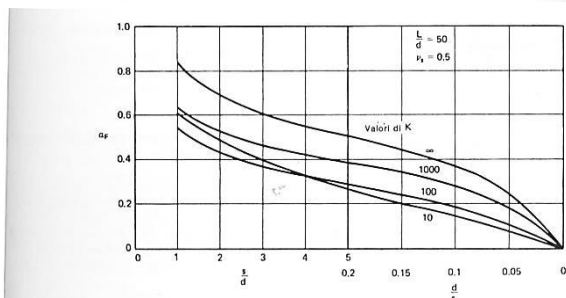
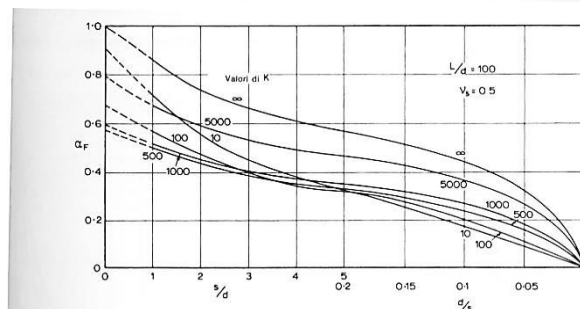
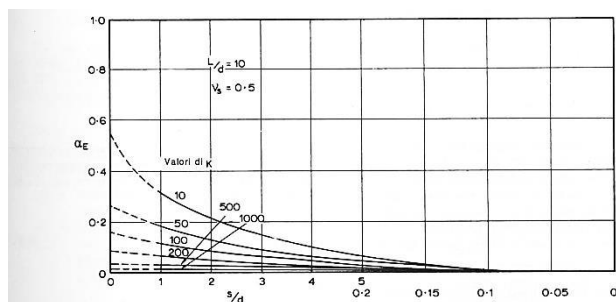
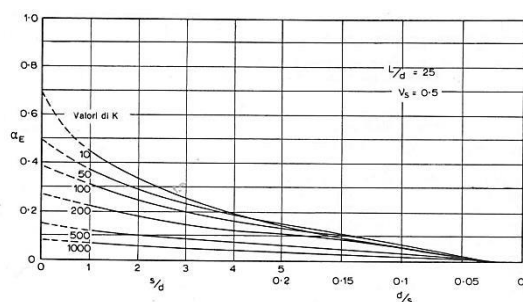
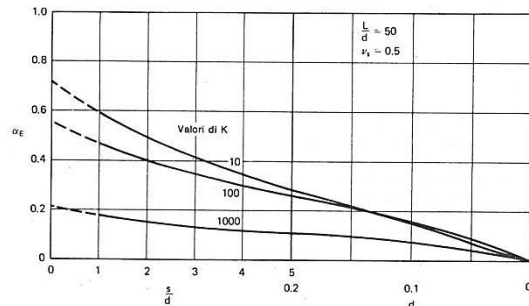
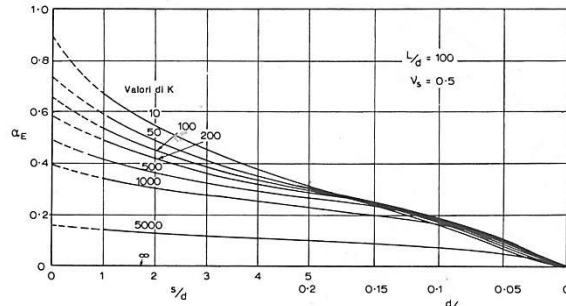
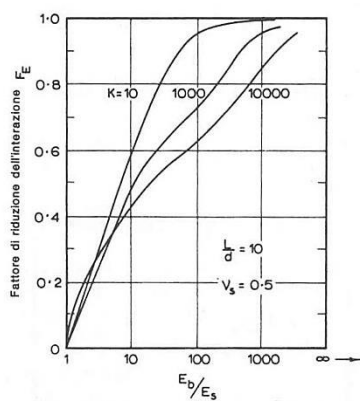
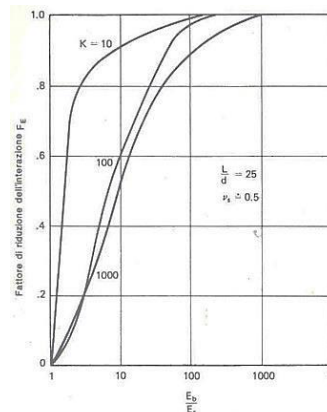
- Il fattore  $\alpha_{kj}$  dipende solo dalle caratteristiche del palo j, e dall'interasse tra j e k
- il termine  $\rho_{1j} P_j$  è il cedimento del palo j sotto il proprio carico
- il termine  $\rho_{1k} P_k$  è il cedimento del palo k sotto il proprio carico

da cui segue che il cedimento del palo k, è pari al cedimento che questo avrebbe come isolato sottoposto al proprio carico, più un fattore  $\alpha$  per il cedimento che nelle stessa condizione subiscono gli altri pali.

I fattori alfa sono determinati con la seguente espressione:

$$\alpha = \alpha_F - F_E (\alpha_F - \alpha_E)$$

e sono dipendenti dalla rigidezza del palo, del terreno lungo il fusto, della lunghezza del palo e dell'interasse tra i pali. Gli Autori forniscono numerose figure per la loro determinazione, riportate nel seguito.

FIGURA 6.2 Fattori di interazione per pali sospesi,  $L/d = 10$ .FIGURA 6.3 Fattori di interazione per pali sospesi,  $L/d = 25$ .FIGURA 6.4 Fattori di interazione per pali sospesi,  $L/d = 50$ .FIGURA 6.5 Fattori di interazione per pali sospesi,  $L/d = 100$ .FIGURA 6.10 Fattori di interazione per pali portanti di punta,  $L/d = 10$ .FIGURA 6.11 Fattori di interazione per pali portanti di punta,  $L/d = 25$ .FIGURA 6.12 Fattori di interazione per pali portanti di punta,  $L/d = 50$ .Fattori di interazione per pali portanti di punta,  $L/d = 100$ .FIGURA 6.14a Fattori di riduzione dell'interazione  $F_E$ .FIGURA 6.14b Fattori di riduzione dell'interazione  $F_E$ .



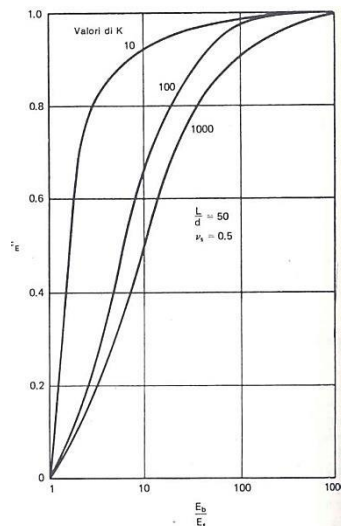
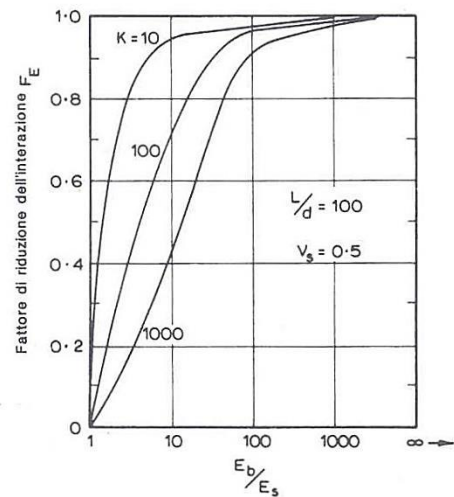
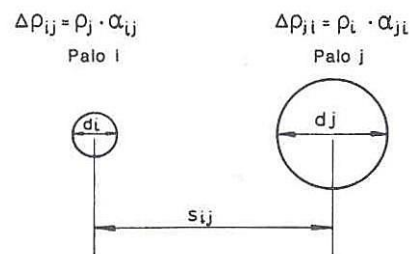
FIGURA 6.14c Fattore di riduzione dell'interazione  $F_E$ .FIGURA 6.14d Fattori di riduzione dell'interazione  $F_E$ .

FIGURA 6.15 Interazione tra due pali di forma differente.

Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, "Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali", pagg. 115 – 123.

## 1.6 Instabilità (carico di punta)

Nella maggior parte dei casi (terreni almeno discreti, pali di normali dimensioni) non esistono pericoli di instabilità. La verifica di instabilità del palo immerso nel terreno acquista importanza essenzialmente quando si ha a che fare con la tipologia strutturale dei micropali.

Secondo la trattazione di Timoshenko e Gere (ripresa dall'Ing. Mascardi, Rivista Italiana di Geotecnica, anno II, n° 4, 1968), il carico critico di un'asta immersa in suolo elastico è dato dalla seguente relazione:

$$P_k = \frac{\pi^2 EJ}{L^2} \left( m^2 + \frac{\beta L^4}{m^2 \pi^4 EJ} \right)$$

$E$  = modulo di elasticità longitudinale dell'asta

$J$  = momento di inerzia della sezione trasversale dell'asta

$L$  = lunghezza dell'asta

$\beta$  = reazione del terreno per unità di lunghezza e di spostamento laterale

$m$  = numero di semionde della deformata sinusoidale dovuta al carico di punta

Il valore minimo del carico critico, ottenuto differenziandone l'espressione rispetto ad  $m$ , è dato dall'espressione:

$$P_k = 2\sqrt{\beta EJ}$$



La verifica ad instabilità risulta superata se il carico verticale applicato al palo sarà minore del carico critico diviso per un opportuno coefficiente di sicurezza:

$$\frac{P_k}{c_r} \geq N$$

dove per  $c_r$  si suggerisce di adottare un valore non minore di 10.

*Rif.: H.G. POULOS – E.H. DAVIS, “Analisi e Progettazione di Fondazioni su Pali”, pagg. 336 – 337.*

*Rif.: CARLO CESTELLI GUIDI, “Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni”, pagg. 218 – 219.*

*Rif.: ARMANDO MAMMINO, “I Micropali: tecniche di progetto e di verifica”, pagg. 15 – 18.*

*Rif.: EUGENIO CERONI, “Micropali, Pali di Fondazione”, pagg. 15 – 18.*

## 2 Utilizzo del programma

### 2.1 Convenzioni, simboli ed unità di misura

Le unità di misura predefinite del programma sono i **cm** ed i **daN**.

In tutti i casi, le unità di misura sono mostrate a schermo di fianco al valore inserito, ed è possibile accedere ad un utilissimo pannello di conversione automatica, fra valori espressi in unità di misura differenti, con un semplice click del mouse sull'unità di misura.

I simboli principali utilizzati nel programma **IS Palificate** sono di seguito riportati:

- Generiche
  - **z**: quota, orientata verso l'alto.
  - $\gamma_d, \gamma_t$ : pesi di volume del terreno, secco e saturo.
- Tensioni
  - $\sigma_v$ : tensione verticale totale.
  - $\sigma'_v$ : tensione verticale efficace.
  - **u**: pressione neutra.
- Valori del modello
  - **k<sub>0</sub>**: coefficiente di spinta a riposo.
  - **k<sub>a</sub>**: coefficiente di spinta attiva.
  - **k<sub>p</sub>**: coefficiente di spinta passiva.
  - **k<sub>s</sub>**: modulo di reazione del terreno.
  - **q<sub>lim</sub>**: capacità portante limite (portata di base).
  - **f<sub>z</sub>**: attrito laterale limite (portata laterale).
- Portate
  - **W**: peso totale del palo.
  - **Q<sub>b,c</sub>**: portata limite di base (in compressione).
  - **Q<sub>s,c</sub>**: portata limite per attrito laterale (in compressione).
  - **Q<sub>s,t</sub>**: portata limite per attrito laterale (in trazione).
  - **Q<sub>t,c</sub>**: portata limite totale (in compressione).
  - **Q<sub>t,t</sub>**: portata limite totale (in trazione).
  - **R<sub>tr</sub>**: resistenza trasversale.
  - **s/D**: rapporto tra cedimento e diametro del palo.
- Azioni / sollecitazioni
  - **N**: sforzo normale
  - **M**: momento flettente
  - **V**: taglio
  - **T**: momento torcente

Il programma **IS Palificate** **non utilizza alcun coefficiente di sicurezza implicito**: è responsabilità dell'utente di valutare correttamente i dati utilizzati ed i conseguenti risultati.

### 2.2 Panoramica dei comandi disponibili

I dati sono passati al programma attraverso il **menu principale**, la **barra delle icone** ed il **pannello laterale**.

Il menu principale contiene diverse voci, mentre il pannello è suddiviso in riquadri che raggruppano i controlli necessari a svolgere i compiti desiderati.

La maggior parte dell'output è rappresentata nella **finestra principale**, dove si vedranno rappresentati la palificata e i risultati del calcolo.

La finestra principale è divisa in due parti, la sinistra dedicata alla vista in pianta della palificata (1), la destra alla vista di dettaglio del singolo palo e a i risultati del calcolo.

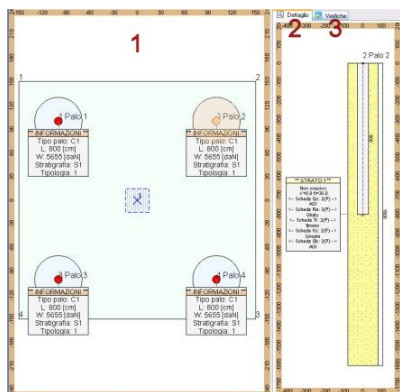
La sezione di destra della finestra principale presenta due **linguette**:

#### Dettaglio (2).

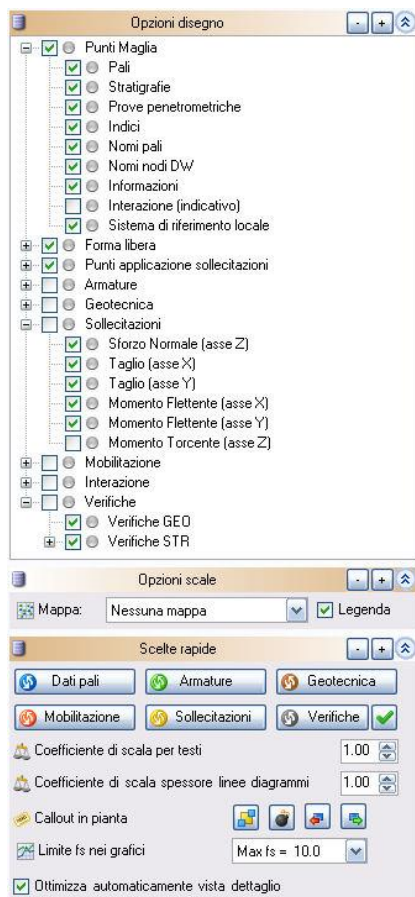
In questa modalità il programma disegna graficamente i dati del palo selezionato (ad esempio utilizzando il mouse sulla vista in pianta). La scelta delle informazioni visualizzate è operata utilizzando il pannello laterale destro.

#### Verifiche (3).

In questo caso il programma genera e visualizza i risultati del calcolo in forma tabellare. Sono riportati i coefficienti di sicurezza di tutte le verifiche eseguite, indicati in verde se la verifica è superata oppure in rosso se non lo è.



#### Riquadri del pannello laterale.



#### Grafica – Opzioni disegno.

Contiene la scelta dei particolari da rappresentare sulla grafica a schermo.

L'elenco ad albero permette una combinazione qualsiasi di opzioni.

#### Grafica – Opzioni scale.

Permette di disegnare a schermo alcune scale colorate, che rappresentano la distribuzione sui pali di alcune grandezze, come lo sforzo normale applicato intesa, il cedimento o il fattore di sicurezza a capacità portante.

#### Grafica – Scelte rapide.

Sono presenti alcuni tasti che rappresentano delle “scelte rapide” per visualizzazioni predefinite (ad esempio, per visualizzare nel dettaglio le armature, o le sollecitazioni, senza altri elementi di disturbo).

Vi sono anche caselle che permettono di scegliere il coefficiente di scala da applicare alle dimensioni di tutti i testi e allo spessore di tutti i diagrammi rappresentati.

Il “limite fs nei grafici”, rappresenta il valore che il software utilizza come limite superiore del fattore di sicurezza, rappresentato nei vari grafici. Questo permette di ottenere una migliore lettura della variazione del fattore di sicurezza, per le varie verifiche geotecniche o strutturali, lungo il fusto del palo.

L'opzione “ottimizza automaticamente vista dettaglio”, se attiva, fa in modo che il disegno rappresentato nella vista di dettaglio sia sempre

in scala con le dimensioni attualmente disponibili.

### Geometria – Punti maglia definiti. (1)

I “punti maglia” rappresentano le coordinate delle teste dei pali. Questa tabella permette di modificare, per ciascun punto, le sue coordinate, il tipo di palo, la sua inclinazione, e così via.

### Geometria – Forma libera - Vertici. (2)

“Forma libera” è una definizione generica per indicare la forma geometrica della fondazione l’elemento che collega i pali. In questa tabella sono riportate le coordinate dei vertici.

Sono presenti anche caselle che permettono di definire la coordinata Z del piano di posa della fondazione, e le dimensioni di un eventuale sottofondo o magrone.

**Z** : è la quota dell’intradosso della fondazione, dell’estradosso dell’eventuale sottofondo, della testa dei pali.

**Hstr**: è l’altezza (o spessore) della parte strutturale della fondazione, che si sviluppa al di sopra di **Z**.

**Hmag**: è l’altezza (o spessore) del sottofondo o magrone, non strutturale, che si sviluppa al di sotto di **Z**.

**Lmag**: è la fuoriuscita del sottofondo o magrone, non strutturale, che si sviluppa esternamente al contorno della fondazione stessa.

### Geometria – Forma libera – Punti di applicazione delle sollecitazioni.

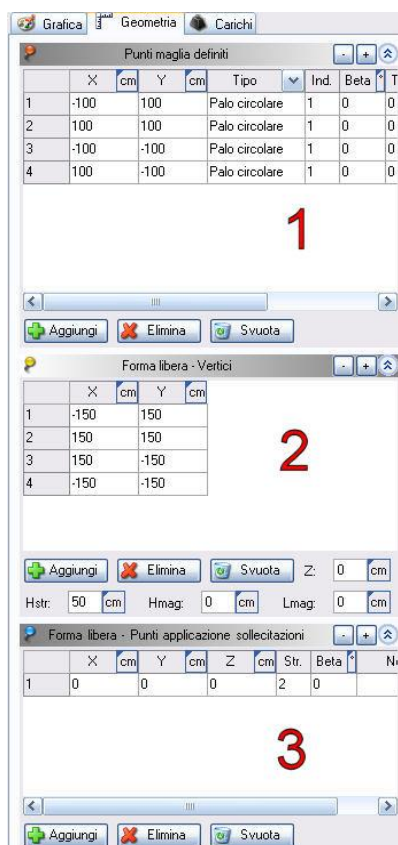
#### (3)

In IS Palificate, le sollecitazioni agenti possono essere applicate direttamente sulla testa dei pali, oppure sulla fondazione per essere in seguito distribuite sui pali.

In questo secondo caso, i punti di applicazione delle sollecitazioni sulla forma libera rappresentano i punti in cui assegnare le azioni che il programma dovrà distribuire sulle teste dei pali prima di procedere con le verifiche.

Generalmente, questi punti rappresenteranno le posizioni dei pilastri.

La tabella presente in questa sezione permette di modificare le coordinate di questi punti.



Carichi – Opzioni. (1)

Permette di scegliere tra due modalità operative:

**carichi applicati direttamente ai pali** : in questo caso l'utente fornisce le azioni in testa ai pali, ed il software le utilizza direttamente per le verifiche.

**carichi applicati alla forma libera** : in questo caso l'utente fornisce le azioni sulla fondazione (punti di applicazione sollecitazioni sulla forma libera), ed il software ridistribuisce queste azioni sulla testa dei pali prima di procedere col calcolo.

**Sollecitazioni applicate “ai PUNTI MAGLIA” o “ALLA FORMA LIBERA”.**

Secondo la modalità operativa scelta, per un caso ed un sestetto, questa tabella permette di modificare le azioni che l'utente ha applicato ai pali o alla fondazione.

Si precisa che questa tabella è disponibile solo se l'utente ha selezionato un caso ed un sestetto specifici, altrimenti sarà vuota e disattiva.

Queste azioni sono espresse nel sistema di riferimento globale.

Si tratta di un modo alternativo, ma equivalente, all'utilizzo del pannello dei **Casi di Carico** per modificare le sollecitazioni agenti.

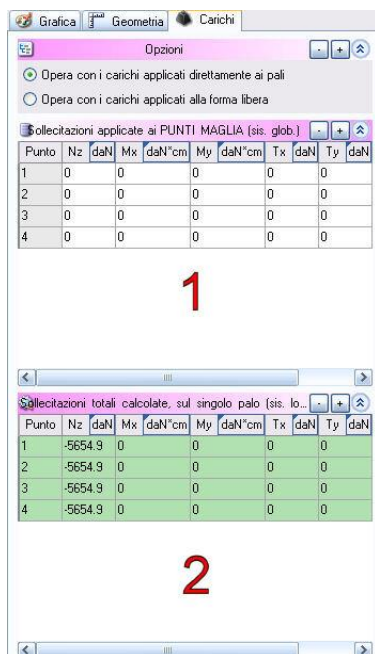
Carichi – Sollecitazioni totali calcolate, sul singolo palo. (2)

Questa tabella mostra le azioni applicate in testa ad un palo, aumentate del peso proprio del palo, nel sistema di riferimento locale del singolo palo.

Si precisa che questa tabella è disponibile solo se l'utente ha selezionato un caso ed un sestetto specifici, altrimenti sarà vuota e disattiva.

Una riga è verde o rossa secondo che tutte le verifiche siano superate o meno, per il caso ed il sestetto attualmente selezionati.

La maggior parte dei comandi possono essere raggiunti in modo più intuitivo e veloce utilizzando il mouse o i controlli del pannello laterale, ma è comunque possibile utilizzare anche il **menu principale** per ottenere gli stessi risultati.

File.

Salvataggio, stampa, apertura di file.

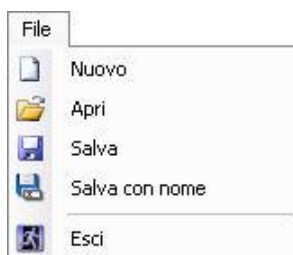
**Nuovo**: crea un nuovo file, con dati predefiniti.

**Apri**: apre il file selezionato.

**Salva**: apre il file selezionato.

**Salva con nome**: apre il file selezionato.

*Attenzione: per i comandi Apri, Salva, Salva con nome, in ogni caso, la cartella di lavoro sarà comunque impostata a quella del “Lavoro” corrente di Dolmen.*



Dati.

Permette di modificare tutti i dati di input del programma.

**Tipologie di pali:** permette di modificare o aggiungere tipologie di pali. Più “punti maglia” (sovente, tutti) possono far riferimento alla stessa tipologia di palo.

**Sezioni:** permette di modificare le forme di sezioni trasversali definite. Queste sezioni possono essere utilizzate per definire una tipologia di palo “Generico” o la forma dei pilastri poggianti sulla fondazione.

**Normativa:** opzioni per la normativa tecnica.

**Materiali:** materiali strutturali utilizzati.

**Casi di carico:** combinazioni delle sollecitazioni.

**Liquefazione:** opzioni per la verifica a liquefazione.

**Interazione cinematica:** opzioni per l’interazione cinematica.

**Carico critico:** opzioni per la verifica del carico critico.

**Tipologie di terreno:** permette di definire le tipologie di terreno utilizzate, dal punto di vista geotecnico. La stratigrafia sarà composta dalla successione di queste tipologie.

**Stratigrafie:** permette di definire una o più stratigrafie da utilizzare nel calcolo. Ciascuna stratigrafia sarà composta da una o più tipologie di terreno. Più “punti maglia” (sovente, tutti) possono far riferimento alla stessa stratigrafia.

**Prove:** dati delle eventuali prove penetrometriche.

**Capacità portante:** schede per il calcolo della capacità portante dei pali. Ciascuna scheda definisce una o più regole per il calcolo della capacità portante. Ciascun “punto maglia” può utilizzare una scheda differente, per ciascuno strato di terreno, ma generalmente tutti i punti maglia condivideranno le stesse schede di calcolo.

**Resistenza trasversale:** schede per il calcolo della resistenza trasversale (orizzontale) dei pali. Ciascuna scheda definisce una o più regole per il calcolo della resistenza trasversale. Ciascun “punto maglia” può utilizzare una scheda differente, per ciascuno strato di terreno, ma generalmente tutti i punti maglia condivideranno le stesse schede di calcolo.

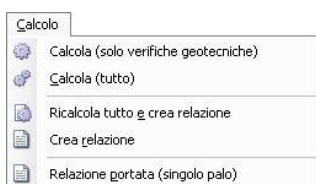
**Assegna:** permette di assegnare la tipologia di palo, la stratigrafia, le schede di calcolo, ai “punti maglia” definiti in pianta..

Calcolo.

Permette di utilizzare diversi strumenti di calcolo, aventi finalità diverse.

**Calcola (solo verifiche geotecniche):** esegue il calcolo limitandosi a verificare gli aspetti geotecnici. Si tratta in genere di un’operazione rapida, ma ovviamente fornirà solo una parte dei risultati.

**Calcola (tutto):** esegue tutte le verifiche, sia geotecniche che strutturali.





**Ricalcola tutto e crea relazione:** esegue il calcolo completo e salva la relazione di calcolo.

**Crea relazione:** salva la relazione di calcolo, con i risultati dell'ultimo calcolo eseguito.

**Relazione portata (singolo palo):** esegue le verifiche geotecniche per il "punto maglia" selezionato, e fornisce una descrizione molto dettagliata delle procedure utilizzate e dei risultati.

### Strumenti.

Impostazioni varie, di tipo grafico o afferenti al calcolo, e generalmente auto esplicative.

**Interrompi ultimo:** interrompe il comando attualmente attivo.

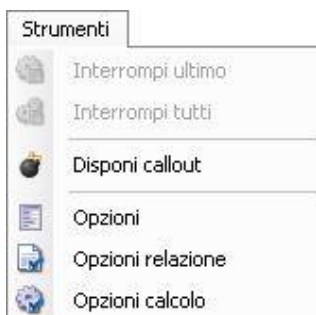
**Interrompi ultimo:** svuota la coda dei comandi.

**Disponi callout:** dispone automaticamente i callout visibili nella vista in pianta.

**Opzioni:** opzioni generali.

**Opzioni relazione:** opzioni specifiche per la generazione della relazione.

**Opzioni calcolo:** opzioni specifiche per il calcolo.



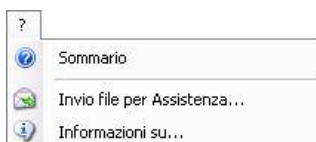
### ?

Informazioni sul prodotto e accesso al manuale.

**Sommario:** da accesso a questo manuale in formato pdf.

**Invio file per assistenza:** invia il file attuale all'assistenza tecnica. Questo comando è disponibile solo se sono stati impostati, dal pannello principale di Dolmen, l'e-mail e l'SMTP server dell'utente, altrimenti occorrerà procedere con un normale Client di Posta Elettronica.

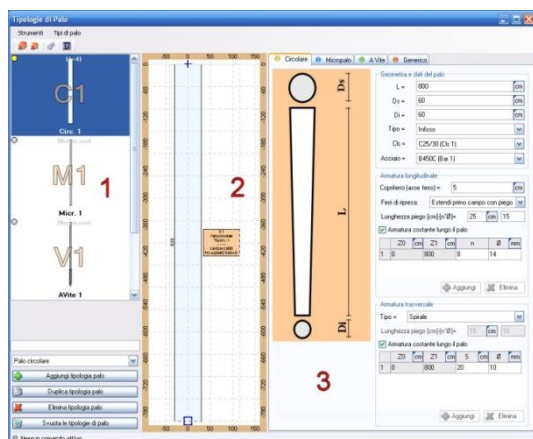
**Informazioni su:** informazioni sul software.



## 2.3 Finestre di dialogo

### 2.3.1 Tipologie di pali

Questo pannello permette di definire le tipologie di palo che si intendono utilizzare nel programma.



E' possibile definire tante tipologie, ognuna differente dalle altre, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di tipologie (1), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2 e 3), dove possono essere modificate.

Ogni tipologia rappresentata in (1), riporta un cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un

cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

In basso a sinistra (sotto a **2**) sono presenti i tasti per aggiungere nuove tipologie o eliminarne alcune.

Il trascinamento effettuato col mouse da **(1)** verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di assegnare direttamente una tipologia ad un punto maglia.

La tipologia di palo **Circolare** rappresenta un palo in Cemento Armato, a sezione circolare con diametro eventualmente variabile.

La sezione **(1)** permette di modificare i dati geometrici del palo, la tipologia di infissione, ed i materiali strutturali utilizzati.

La sezione **(2)** permette di definire l'armatura longitudinale.

Questa sarà sempre costituita da una serie di barre parallele al fusto, disposte in cerchio ed equispaziate.

Si può specificare se includere nel disegno l'armatura di collegamento alla fondazione soprastante.

Se l'opzione **armatura costante lungo il palo** è attiva, verranno generate delle barre che corrono lungo l'intero fusto. Volendo invece definire diversi tratti, occorre disattivare quest'opzione, e definire le lunghezze nella tabella sottostante, avendo cura di prevedere un'adeguata sovrapposizione delle armature (il programma verificherà che questa sia sufficiente, a meno che l'utente non disattivi quest'opzione).

La sezione **(3)** Permette di definire l'armatura a taglio, per cui vale un discorso del tutto analogo all'armatura longitudinale (a parte la sovrapposizione).

La tipologia di palo **Micropalo** rappresenta un palo tubolare in acciaio con iniezione di malta cementizia in pressione.

I diametri del tubolare più utilizzati vanno dagli 80 ai 250 mm.

La pressione di iniezione dipende dalla tecnologia impiegata:

- micropali con riempimento a gravità (normalmente in roccia o in terreni coesivi molto compatti)
- micropali con riempimento a bassa pressione (5 ÷ 6 atm)
- micropali con riempimento ad alta pressione (20 ÷ 30 atm, conferisce capacità portante elevata)

La sezione **(1)** permette di modificare i dati geometrici del palo, ed i materiali strutturali utilizzati. Il **Cls** serve solo per definire la rigidezza ed il peso del palo, ma il suo contributo è completamente trascurato per le verifiche strutturali, che fanno riferimento al solo acciaio.

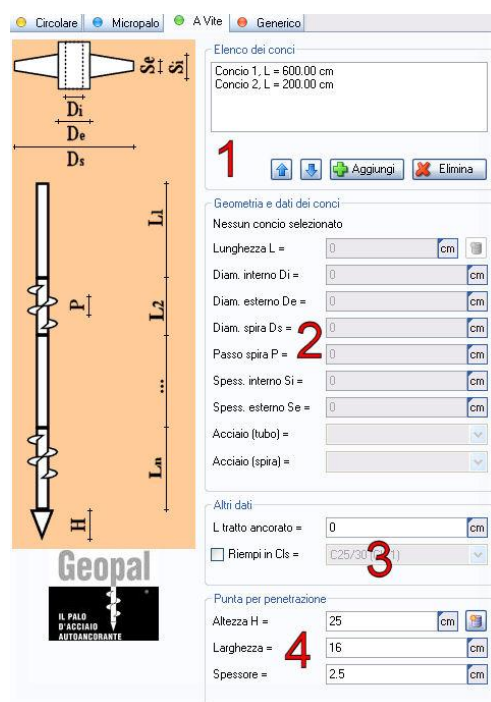
La sezione **(2)** permette di specificare la modalità di iniezione



utilizzata lungo tutto il fusto, e le eventuali zone (normalmente di estensione massima pari a 50 cm) in cui si eseguono sbulbature ed iniezioni ad alta pressione. Ciò permette di definire diversi tipi di iniezione lungo il fusto del palo.

La sezione (3) permette di specificare la modalità di collegamento alla fondazione soprastante.

La sezione (4) consente di indicare, percentualmente, il contributo della malta interna ed esterna alla definizione della rigidità del palo. Le proprietà della malta sono definite dal materiale **CIs** sopra riportato.



La tipologia di palo **A vite** rappresenta un palo tubolare in acciaio spiralato ed infisso per avvitamento.

Questo tipo di palo è usualmente formato da tratti lisci alternati a tratti dotati di spirale.

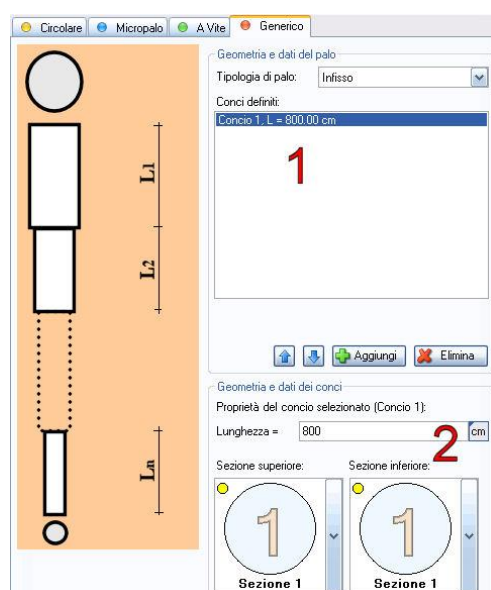
La configurazione più usuale vede un singolo tratto di fusto liscio, seguito da un tratto spiralato prossimo alla base del palo, ma sono possibili altre configurazioni, ottimizzando la posizione delle spirali in funzione dell'andamento delle prove penetrometriche.

La sezione (1) permette di definire di quanti tratti (spiralati e non) è composto il palo, e di selezionare il tratto da modificare.

La sezione (2) consente di modificare i dati geometrici del tratto attualmente selezionato. Se il passo o lo spessore della spirale è nullo, o il diametro è pari a quello esterno del tubo, un tratto è considerato privo di spirale.

Si possono definire i tipi di acciaio strutturale utilizzato.

La sezione (3) permette di specificare la lunghezza ancorata alla fondazione soprastante, ed un materiale **CIs** utilizzato solo per definire la rigidità ed il peso del palo, mentre le verifiche strutturali sono eseguite con riferimento al solo acciaio.



La sezione (4) è dedicata alla definizione della "puntazza", con finalità esclusivamente grafiche (tale elemento è computato nel peso del palo ma non influisce in nessuna verifica).

La tipologia di palo **Generico** rappresenta un palo di tipologia "complessa", non riconducibile ad una di quelle precedentemente descritte.

Questo palo è costituito da una successione di tratti, ciascuno definito da una sezione iniziale e finale. Le due sezioni possono essere la stessa, o, se differenti, essere geometricamente compatibili (entrambe circolari o con lo stesso numero di

vertici). Il fusto varia linearmente tra le sezioni di estremità.

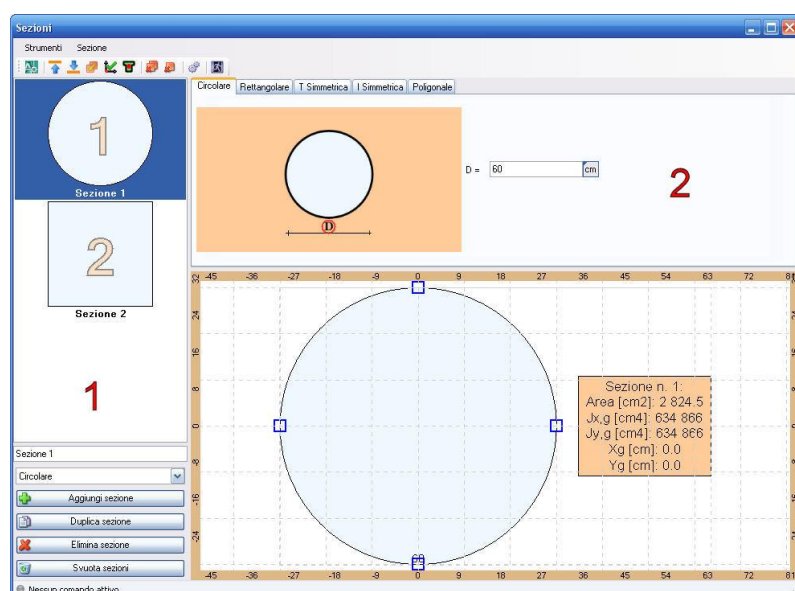
La sezione (1) permette di definire di quanti tratti è composto il palo, e di selezionare il tratto da modificare.

La sezione (2) consente di modificare i dati geometrici del tratto attualmente selezionato, definendone la lunghezza e scegliendo le sezioni di estremità.

*Attenzione: nella versione attuale del programma, questo tipo di palo è verificato solo dal punto di vista geotecnico, non sono previste verifiche di tipo strutturale.*

## 2.3.2 Sezioni

Questo pannello permette di definire le sezioni trasversali da utilizzare negli elementi strutturali (tipologia di palo Generico, pilastri sulla forma libera).



E' possibile definire tante sezioni, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di sezioni (1), selezionandone una questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2), dove possono essere modificate.

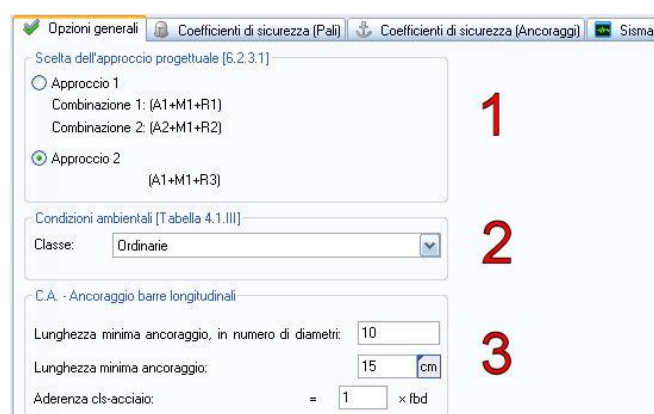
Ogni sezione rappresentata in (1), riporta un cerchietto giallo, oppure un

cerchietto grigio, a seconda che sia utilizzata da qualche elemento o del tutto inutilizzata.

In basso a sinistra (sotto a 1) sono presenti i tasti per aggiungere, duplicare o eliminare le sezioni.

## 2.3.3 Normativa

Questo pannello elenca tutte le opzioni collegate con le indicazioni di normativa (Norme Tecniche per le Costruzioni).



Nella prima pagina si trova la scelta dell'approccio di calcolo, che può essere liberamente scelto dall'utente, in (1). Il programma sceglierà automaticamente i coefficienti di sicurezza da utilizzare secondo l'approccio scelto.

In (2) si possono specificare le condizioni ambientali, necessarie per le verifiche in esercizio del C.A.

In (3), relativamente ai pali in C.A., si impostano le

opzioni che riguardano la verifica di ancoraggio delle barre di armatura. Sono presenti tre metodi, in ogni caso il software li utilizza tutti facendo prevalere il più severo.

- Viene determinata una lunghezza minima necessaria moltiplicando un coefficiente per il diametro della barra. Se la sezione di verifica si trova entro questa lunghezza, da un qualsiasi estremo della barra, questa viene esclusa dal calcolo. Per disattivare questo controllo, è sufficiente impostare a 0 il coefficiente.
- Viene determinata una lunghezza minima necessaria in cm. Se la sezione di verifica si trova entro questa lunghezza, da un qualsiasi estremo della barra, questa viene esclusa dal calcolo. Per disattivare questo controllo, è sufficiente impostare a 0 la lunghezza.
- Viene calcolata l'aderenza acciaio calcestruzzo. Il software calcola  $f_{bd} = \alpha \times 2.25 \times f_{ctk} / \gamma_c$ , in cui il coefficiente  $\alpha$  è a carico dell'utente (posto pari a 1.0 come valore predefinito). Se la sezione non è semplicemente compressa, oppure se la verifica è in una situazione sismica,  $f_{bd}$  è ulteriormente diviso per 1.5 (in modo da allungare la lunghezza richiesta del 50%). Si impone che il diametro efficace di una barra, in una certa sezione, sia pari a  $4.0 \times l_b \times f_{bd} / f_{td}$  (o  $f_{yd}$ ), dove  $l_b$  è la lunghezza del tratto di barra precedente la sezione in esame. Si veda [NTC08 4.1.2.1.1.4]. Per disattivare questo controllo, è sufficiente impostare a 0 il coefficiente  $\alpha$ .

esplicitamente previsti nelle tabelle, al fine della scelta dei coefficienti.

Nella zona (2) sono riportati dei tasti che permettono di impostare tutti i coefficienti a valori unitari oppure di ripristinare i valori predefiniti da normativa.

veda [NTC08 6.6.2].

Nella seconda pagina sono presenti i coefficienti di sicurezza relativi al calcolo della portata dei pali. Si veda [NTC08 6.4.3.1.1] e [NTC08 6.4.3.1.2].

Le tabelle di coefficienti sono tratte dalla normativa tecnica ed usualmente non c'è motivo di modificarli.

Nella zona (1) è possibile specificare come considerare alcuni tipi di palo non

Nella terza pagina sono presenti i coefficienti di sicurezza relativi al calcolo della resistenza a sfilamento degli ancoraggi, utili soltanto per alcune tipologie di palo (in particolare, i pali A Vite). Questi pali, utilizzati in realtà come ancoraggi, utilizzano modelli di calcolo tipici dei tiranti e non dei pali da portata, per questo motivo sono soggetti a coefficienti di sicurezza specifici. La verifica è possibile solo per casi di carico SLU STR, negli SLU GEO i coefficienti di sicurezza sono assunti unitari. Si

Anche per questa pagina, in basso a sinistra sono riportati dei tasti che permettono di impostare tutti i coefficienti a valori unitari oppure di ripristinare i valori predefiniti da normativa.

The screenshot displays the 'Sisma' (Seismic) configuration window of the IS Palificate software. It is divided into several sections:

- Zone 1 (Top Left):** 'Parametri spettrali [3.2.3]'. Includes fields for 'Località', 'Longitudine' (0), 'Latitudine' (0), 'Vita nominale' (50), 'Classe d'uso' (Classe II), 'Stato limite' (SLU: SLV: Stato Limite di S<sub>e</sub>, SLE: SLD: Stato Limite di D<sub>e</sub>), 'Accelerazione max.' (0 m/s<sup>2</sup>), and 'Amplificazione max.' (0). Buttons for 'Dolmen' and 'Auto' are at the bottom.
- Zone 2 (Bottom Left):** 'Coefficienti di amplificazione locali [3.2.3.2.1; 7.11.3.1]'. Includes dropdowns for 'Categoria topografica' (Categoria T1) and 'Categoria sottosuolo' (Categoria C), and fields for 'Accelerazione orizzontale max. al sito (SLU)' and 'Accelerazione orizzontale max. al sito (SLE)' (both 0 m/s<sup>2</sup>).
- Zone 3 (Top Right):** 'Requisiti strutturali e percentuali di armatura [7.2.5]'. Includes checkboxes for 'Sisma: percentuale minima di armatura longitudinale, per l'intera lunghezza del palo' (checked, value 3) and 'Sisma: per potenziali cerniere plastiche, per N diametri da testa palo' (checked, value 10.0). It also has a checkbox for 'Limita la deformazione dei materiali al campo elastico'.
- Zone 4 (Bottom Right):** 'Liquefazione [NTC08 7.11.3.4; EN 1998-5 4.1.4]'. Includes fields for 'Magnitudo momento (M<sub>w</sub>) per verifica a liquefazione (calcolo di CRR)' (7.5) and 'Coefficiente di sicurezza sul rapporto CRR/CSR' (1.25).

La quarta pagina altri dei valori, molti dei quali vanno obbligatoriamente specificati dall'utente.

La zona (1) riguarda la definizione dei parametri spettrali, tratti dal reticolo di riferimento delle NTC08. Questi dati sono imputabili "a mano" dall'utente, oppure possono essere

letti in automatico utilizzando i tasti "Dolmen" (che li copia dal programma Dolmen CAD3D) o "Auto" (che li ricava dalla latitudine e longitudine del sito).

La zona (2) riguarda l'amplificazione locale dell'azione sismica, occorre definire la categoria topografica e di sottosuolo, da cui conseguono le accelerazioni orizzontali massime che saranno utilizzate nel calcolo.

*Attenzione: i dati sismici, sono (opzionalmente) utilizzati direttamente da IS Palificate per definire delle sollecitazioni aggiuntive sui pali (interazione cinematica), e per le verifiche di liquefazione (che induce comunque incrementi delle sollecitazioni indotte nei pali, annullando la resistenza del terreno). Le azioni trasmesse in fondazione, in condizioni sismiche (interazione inerziale), sono determinate dalla corrispondente analisi della struttura in elevazione sotto la combinazione di carico sismico per stato limite ultimo. Si veda [NTC08 7.11.5.3.2].*

La zona (3) riporta delle opzioni che riguardano i pali in C.A., in condizioni sismiche. La prima casella impone la percentuale minima di armatura longitudinale che deve essere presente per tutta la lunghezza del palo. La seconda casella impone la percentuale minima di armatura longitudinale che deve essere comunque presente in un tratto pari a "N" diametri (usualmente 10) a partire dalla testa del palo. La terza opzione permette di imporre che i materiali (calcestruzzo e acciaio) siano sfruttati solo all'interno del campo elastico delle rispettive leggi costitutive. Si veda [NTC08 7.2.5].

*Attenzione: imporre ai materiali di "lavorare" entro il campo elastico, esclude la formazione di cerniere plastiche. Se si disattiva questa opzione, occorre effettuare verifiche aggiuntive (comportamento duttile delle sezioni) che restano a carico dell'utente.*

*Attenzione: le sezioni in acciaio, nella versione attuale, sono verificate col Metodo Elastico (E), che esclude la plasticizzazione del materiale. Si veda [NTC08 4.2.3.2].*

La zona (4) riporta dei parametri specifici per la verifica a liquefazione. Nel software, la verifica a liquefazione, può essere esclusa, imposta, oppure eseguita analizzando il rapporto tra CSR e CRR secondo Idriss e Boulanger (2004). Quest'ultimo metodo necessita, oltre che di prove penetrometriche ed accelerazione massima orizzontale al sito, anche del valore della magnitudo momento  $M_w$ . Questo valore non è fornito dalle NTC08, e va definito dall'utente. Una possibilità consiste nel fare riferimento alla Mappa di Pericolosità Sismica elaborata dall'INGV ([www.ingv.it](http://www.ingv.it)), utilizzando cautelativamente la magnitudo massima attesa in ogni zona sismogenetica (i valori variano circa tra 5.4 e 7.3). Sempre per questo metodo, la normativa italiana non indica un coefficiente di sicurezza minimo, perciò si propone di utilizzare 1.25 (Si veda Eurocodice 8 – EN 1998-5 4.1.4).



## 2.3.4 Materiali

Questo pannello elenca tutte le opzioni collegate con le proprietà meccaniche dei materiali da costruzione di normativa (Norme Tecniche per le Costruzioni).

Per ciascun materiale, è possibile creare più schede, in modo, ad esempio, di definire Cls di caratteristiche diverse.

Le singole Tipologie di Palo potranno poi fare riferimento ad una qualsiasi di queste schede per definire le proprie caratteristiche meccaniche.

Per ciascun materiale, se si sceglie una delle classi definite dalla normativa, i parametri meccanici sono definiti automaticamente. In alternativa, è possibile scegliere la classe "Personalizzata" e definire i parametri meccanici in modo diretto, svincolandosi dalle

indicazioni delle NTC08.

Sono presenti dei tasti che permettono di aggiungere, duplicare o eliminare i materiali definiti.

## 2.3.5 Casi di carico

Questo pannello elenca tutte le combinazioni delle azioni (dette "Casi di Carico") per cui i pali devono essere soggetti a verifica.

Nella zona (1) è riportato l'elenco dei casi di carico, ciascuno con le proprie caratteristiche: **Nome**, **Tipo di Combinazione**, **Descrizione**, **Presenza del Sisma**.

La zona (2) riporta le sollecitazioni in testa ai pali (o sulla fondazione) per il caso di carico attualmente selezionato.

La zona (3) elenca diversi controlli che permettono di aggiungere, eliminare casi di carico, o predisporre in automatico alcuni casi.

*Attenzione: i casi di carico contengono le sollecitazioni agenti già combinate. Questo perché le azioni in fondazione, usualmente, derivano dall'analisi della sovrastruttura, da cui non si può prescindere.*

Nella zona (1), a parte Nome e Descrizione, è importante definire il Tipo di Combinazione e la Presenza del Sisma.

- **Tipo di Combinazione** definisce quali verifiche eseguire per il caso di carico. Il software, distingue anzitutto se il caso di carico va utilizzato per il calcolo oppure trascurato, secondo la tipologia di palo e l'Approccio geotecnico scelto. Ad esempio, un caso di carico in combinazione SLU GEO, sarà

sempre trascurato se si adopera l'Approccio 2, l'utente può eliminare questo carico oppure lasciarlo nell'elenco, comunque sarà influente sui risultati. In seguito, se un caso di carico va utilizzato, il software sceglie quali verifiche eseguire. Ad esempio, le verifiche di capacità portante vengono effettuate per i casi a SLU e non per i casi a SLE, secondo le indicazioni di normativa. I coefficienti di sicurezza adottati, sono automaticamente scelti in funzione del tipo di caso oltre che dell'Approccio scelto.

- **Presenza del Sisma** stabilisce se il caso comprende l'azione sismica. Questo ha influenza sulle verifiche eseguite e sulla scelta dei coefficienti di sicurezza adottati.

Ciascun caso di carico può comprendere più **sestetti**, cioè più gruppi di azioni intesa ad un palo. Un **sestetto** è composto da sei sollecitazioni: uno sforzo normale, due azioni orizzontali ("tagli"), due momenti flettenti ed un torcente (quest'ultimo trascurato nella versione attuale del software). Un caso di carico corrisponde ad una situazione di verifica, e può prevedere diverse sollecitazioni in testa ad un palo, in conseguenza di diverse "configurazioni" delle azioni: ad esempio il vento può essere considerato spirante nelle due direzioni, quindi sarà considerato una volta con un segno ed una con quello opposto, oppure l'azione sismica può comprendere diversi "modi di vibrare".

Nella zona (2) sono riportate le sollecitazioni agenti, già combinate, secondo i coefficienti corrispondenti al tipo di combinazione delle azioni e ad un'eventuale analisi sismica della struttura in elevazione. Le azioni sono espresse nel sistema di riferimento globale. La definizione dei valori è a cura dell'utente. Queste azioni sono adottate direttamente dal software, senza alcuna modifica, a parte l'aggiunta del peso proprio del palo (o della forma libera rappresentante la fondazione, escluso il sottofondo).

Le azioni possono essere definite direttamente sulle teste dei pali oppure sui punti di applicazione sulla forma libera.

#### Azioni definite direttamente sulle teste dei pali

In questo caso il software esegue i calcoli con i valori recuperati dalla tabella.

- **Punto:** indica il punto maglia (il cui indice è visibile nel disegno pianta).
- **Sestetto:** indica il sestetto di riferimento.
- **Nz:** sforzo lungo l'asse Z globale, positivo "verso l'alto" (sforzo normale per il palo).
- **Mx:** momento attorno all'asse X globale, positivo "antiorario" (mom. flettente per il palo).
- **My:** momento attorno all'asse Y globale, positivo "antiorario" (mom. flettente per il palo).
- **Tx:** sforzo lungo l'asse X globale (taglio per il palo).
- **Ty:** sforzo lungo l'asse Y globale (taglio per il palo).
- **Mz:** momento attorno all'asse Z globale, positivo "antiorario" (torcente per il palo, trascurato nella versione attuale del software).

A queste azioni viene aggiunto il peso proprio del palo.

#### Azioni definite sui punti di applicazione della forma libera

La "forma libera" rappresenta una fondazione infinitamente rigida che collega le teste dei pali. Su di essa sono definibili dei punti in cui applicare delle azioni. In questo modo, si potrebbe rappresentare, ad esempio, un plinto rigido su cui agiscono uno o più pilastri.

Il software, somma le azioni agenti ed il peso proprio della fondazione (trascurando il sottofondo), e le ridistribuisce sulla testa dei pali, nell'ipotesi di piastra infinitamente rigida (quindi spostamenti uguali per tutte le teste dei pali), e comportamento del terreno e dei pali perfettamente elastico.

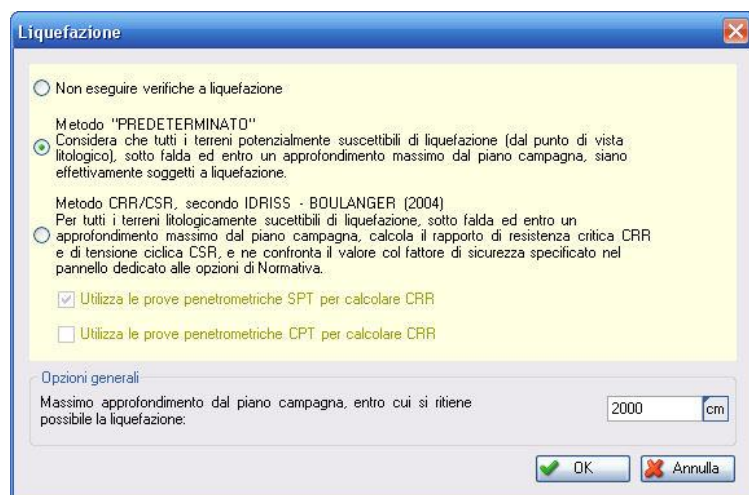
In questo caso il software esegue i calcoli con i valori recuperati dalla tabella.

- **Punto:** indica il punto di applicazione delle azioni sulla forma libera (il cui indice è visibile nel disegno pianta).
- **Sestetto:** indica il sestetto di riferimento.
- **Nz:** sforzo lungo l'asse Z globale, positivo "verso l'alto".
- **Mx:** momento attorno all'asse X globale, positivo "antiorario".
- **My:** momento attorno all'asse Y globale, positivo "antiorario".
- **Tx:** sforzo lungo l'asse X globale.
- **Ty:** sforzo lungo l'asse Y globale.
- **Mz:** momento attorno all'asse Z globale, positivo "antiorario".

Alle sollecitazioni derivanti da quest'analisi, viene aggiunto il peso proprio del palo.

## 2.3.6 Liquefazione

Questo pannello elenca tutte le opzioni per la verifica a liquefazione.



Le verifiche a liquefazione possono essere disattivate, selezionando la relativa opzione.

Il metodo **Predeterminato** considera che tutti i terreni

- ✓ indicati come suscettibili di liquefazione (nella finestra di dialogo dedicata alle proprietà dei terreni)
- ✓ sotto falda
- ✓ entro l'approfondimento massimo dal piano campagna, indicato al fondo di questo pannello

siano effettivamente soggetti a liquefazione in tutti i casi sismici.

Il metodo **Idriss – Boulanger** considera che tutti i terreni

- ✓ indicati come suscettibili di liquefazione (nella finestra di dialogo dedicata alle proprietà dei terreni)
- ✓ sotto falda
- ✓ entro l'approfondimento massimo dal piano campagna, indicato al fondo di questo pannello
- ✓ per i quali CRR sia minore di CSR (con opportuno coeff. di sicurezza indicato nella finestra di dialogo dedicata alle opzioni di normativa)

siano effettivamente soggetti a liquefazione in tutti i casi sismici.

Il calcolo di CRR viene eseguito con le prove penetrometriche SPT e CPT assegnate ai punti maglia, considerando valido il risultato più severo.

Alle quote in cui il terreno risulta liquefatto, si annulla completamente la sua resistenza e rigidità, il che comporta:

- l'annullamento del contributo alla portata totale
- l'azzeramento della reazione del terreno contro il palo, con aumento delle sollecitazioni lungo il fusto

Si veda [NTC08 7.11.3.4 e 7.11.5.3.2].

### 2.3.7 Interazione cinematica

Questo pannello elenca tutte le opzioni per l'interazione cinematica.

**Interazione Cinematica**

☐ Non valutare l'interazione cinematica

Metodo approssimato, secondo Nikolaou et al. (2001)  
In modo approssimato, viene calcolato il massimo momento flettente del palo in corrispondenza dell'interfaccia fra due strati di terreno di diversa rigidità, in condizioni ideali di moto stazionario con frequenza prossima alla frequenza fondamentale del deposito in cui è immerso il palo.  
Questa relazione utilizza l'accelerazione di picco attesa al sito, la densità, il modulo elastico e la velocità delle onde di taglio nel terreno, il modulo elastico, il diametro e la lunghezza del palo.

☒ Non utilizzare coefficienti riduttori / amplificatori

☐ Utilizza il coefficiente specificato (generalmente compreso tra 0.17 e 0.5):

☐ Stima il coefficiente in base al numero di cicli equivalenti  $N_c$  (Nikolaou et al. 2001, Seed et al. 1975).  
Periodo naturale del deposito PROSSIMO ai periodi predominanti dell'eccitazione sismica.

☐ Stima il coefficiente in base al numero di cicli equivalenti  $N_c$  (Nikolaou et al. 2001, Seed et al. 1975).  
Periodo naturale del deposito LONTANO dai periodi predominanti dell'eccitazione sismica.

Opzioni generali:

Estensione della zona a cui sommare l'incremento di momento agente dovuto all'interazione cinematica, in n° di diametri:

L'incremento di sollecitazioni lungo il palo, dovute all'interazione cinematica, può essere disattivato, selezionando la relativa opzione.

Il metodo **Nikolaou** permette di calcolare il massimo momento flettente del palo in corrispondenza dell'interfaccia fra due strati di terreno di diversa rigidità, in modo approssimato. Il valore calcolato corrisponde a condizioni ideali di moto stazionario con frequenza prossima alla frequenza fondamentale del

deposito in cui è immerso il palo. Per terremoti reali (di natura transitoria) la sollecitazione è meno gravosa di quella considerata dagli Autori (eccitazione armonica stazionaria). Gli stessi Autori propongono di adottare un fattore di riduzione, in funzione del numero di cicli equivalenti  $N_c$  dell'accelerogramma.

Il momento massimo viene sommato alle azioni già presenti (derivanti dai carichi applicati, che contengono eventualmente anche il contributo dell'interazione inerziale), nella direzione più gravosa, alla quota esatta del passaggio di strato. Da questo punto, si considera che il momento cinematico decresca fino a zero, nel numero di diametri indicati dall'utente.

Si veda [NTC08 7.11.5.3.2].

### 2.3.8 Carico critico

Questo pannello elenca tutte le opzioni per la verifica del carico critico.

**Svergolamento dei pali snelli**

L'instabilità dei pali di fondazione si verifica raramente, è di interesse soltanto per pali molto snelli (es: micropali tubolari in acciaio) che trasferiscano il proprio carico di punta ad uno strato molto resistente (es: roccia) dopo aver attraversato terreni particolarmente inconsistenti, praticamente sprovvisti di resistenza ai carichi trasversali.

☒ Non eseguire il calcolo del carico critico.

Metodo "TIMOSHENKO"  
Timoshenko (1936) ed altri Autori (Bjerrum, 1957 - Poulos, 1980) propongono un'espressione del carico critico  $P_k$ , valida per palo immerso in un mezzo alla Winkler, incernierato alle estremità. Si ipotizza che lungo il fusto non avvenga alcun trasferimento di carico (palo portante esclusivamente di punta).

Opzioni generali:

Coefficiente di sicurezza da applicare al carico critico determinato:

Lo svergolamento nei pali di portata è un evento raro, si verifica esclusivamente per pali molto snelli (micropali, pali a vite) che attraversano stratificazioni notevolmente inconsistenti per attestarsi in terreni notevolmente rigidi o rocce.

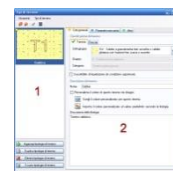
Questa verifica può essere disattivata, agendo sulla relativa opzione.

Il metodo **Timoshenko** fa riferimento alla formula del carico critico proposta da

questo Autore, diffusamente utilizzata applicando un coefficiente di sicurezza "consistente".

### 2.3.9 Tipologie di terreno

Questo pannello permette di definire le tipologie di terreno da utilizzare nelle stratigrafie. E' possibile definire tante tipologie di terreno, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella





relazione.

A sinistra è presente un elenco di tipologie di terreno (1), selezionandone una questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2), dove possono essere modificate.

Ogni tipologia rappresentata in (1), riporta un cerchietto giallo, oppure un cerchietto grigio, a seconda che sia utilizzata da qualche elemento o del tutto inutilizzata.

In basso a sinistra (sotto a 1) sono presenti i tasti per aggiungere, duplicare o eliminare le tipologie di terreno.

Il primo pannello dedicato alle proprietà del terreno riguarda la classificazione (1) e la descrizione (2).

The screenshot shows the 'Dati generali' (General Data) panel. It has three tabs: 'Dati generali' (selected), 'Parametri meccanici', and 'Altro'. Under 'Classificazione del terreno', there is a 'Terreno' section with a dropdown menu showing 'Roccia'. Below it, 'Sottogruppo' is set to 'SW - Sabbie a granulometria ben assortita o sabbie ghiaiose con frazione fine scarsa o assente'. 'Gruppo' is set to 'S - Sabbie e terre sabbiose', and 'Categoria' is set to 'Terreni a grana grossa'. There is a checkbox for 'Suscettibile di liquefazione (in condizioni opportune)'. Under 'Descrizione del terreno', the 'Nome' field contains 'Sabbia'. There are checkboxes for 'Personalizza il colore di questo terreno nei disegni.' and 'Scegli il colore personalizzato per questo terreno.' and 'Imposta il colore personalizzato al valore predefinito secondo la litologia.' Under 'Descrizione della litologia', the text 'Terreno sabbioso.' is displayed. A large red number '2' is overlaid on the description area.

*Attenzione: la classificazione del terreno è importate, perché guida il programma nella scelta dei metodi di calcolo da utilizzare.*

Normalmente è sufficiente indicare una classificazione di massima, cioè se si tratta di un terreno o di una roccia, e nel caso di un terreno sciolto, se è coesivo o non coesivo (categoria). Ulteriori livelli di dettaglio (l'esatto sottogruppo di appartenenza) hanno influenza minore se non nulla.

La casella **Suscettibile di liquefazione...** è altresì importante, perché indica al programma che la tipologia di terreno è litologicamente suscettibile al fenomeno della liquefazione. Se questa casella è barrata, e contemporaneamente la verifica a liquefazione è attivata, il terreno sarà sottoposto ad analisi, altrimenti verrà esclusa ogni possibilità di liquefazione.

La parte (2) contiene una serie di dati che hanno finalità esclusivamente grafica o descrittiva per la relazione di calcolo.

The screenshot shows the 'Parametri meccanici' (Mechanical Parameters) panel. It has three tabs: 'Dati generali', 'Parametri meccanici' (selected), and 'Altro'. There is a text block explaining that usually only one value is defined for each mechanical parameter, but recent norms allow for multiple values for safety. Below this, there are three sections for different analysis conditions: 'Caratteristiche per analisi in condizioni drenate', 'Caratteristiche per analisi in condizioni non drenate', and 'Caratteristiche per analisi di un ammasso roccioso'. Each section has a table with columns for parameters (c, daN/cm2, fi, su, qum) and a 'Descrizione' column. In the first section, 'c' is set to 0 and 'fi' is set to 30. Each section has 'Aggiungi', 'Elimina', and 'Svuota' buttons. A large red number '1' is overlaid on the first table, a large red number '2' on the second, and a large red number '3' on the third. At the bottom, there is a 'Suggerimenti' button.

Il secondo pannello dedicato alle proprietà del terreno riguarda le caratteristiche meccaniche, secondo tre diversi modelli: terreno dotato di coesione efficace ed angolo di attrito (1), di resistenza a taglio non drenata (2), di resistenza a taglio monoassiale (3).

In linea teorica, un terreno non coesivo avrà dati solo nella parte (1), un terreno coesivo nella parte (1) e / o nella parte (2), un ammasso roccioso nella parte (1) e / o (2) e / o (3).

La scelta di quali dati fornire, dipende oltre che dalla tipologia di terreno, anche dal modello geotecnico che si vuole applicare, ad esempio un terreno argilloso può essere analizzato sia in condizioni drenate che non drenate, e perciò serviranno sia i dati (1) che i dati (2).

Per ciascuna zona è possibile inserire più righe di valori,

per indicare il numero di prove significative che si sono effettuate. Abitualmente sarà presente soltanto una riga di valori (o nessuna, se il dato non è disponibile), ma se ve ne sono in numero maggiore di uno, il software eseguirà un calcolo separato per ciascuna riga, ricaverà il valore medio ed il valore minimo delle resistenze determinate, ed adotterà i coefficienti di sicurezza idonei per determinare la resistenza di calcolo.

Il terzo pannello è dedicato alla definizione di parametri meccanici (1) e (2) e riporta in un'area a parte (3) il riassunto di tutti i dati inseriti.

**Parametri meccanici**

**Pesi di volume**

Peso di volume secco (per terreno al di fuori della falda): 0.0018 daN/cm<sup>3</sup>

Peso di volume saturo (per terreno sotto falda): 0.0021 daN/cm<sup>3</sup>

**Caratteristiche di deformabilità**

Modulo elastico: 400 daN/cm<sup>2</sup>

Modulo di taglio: 0 daN/cm<sup>2</sup>

**Riassunto dati**

T1	Sabbia SW - Sabbie a granulometria ben assortita o sabbie ghiaio con frazione fine scarsa o assente					
$\gamma_d$	$\gamma_t$	$c'_k$	$\phi'_k$	$s_{u,k}$	$q_{u,k}$	$E_s$
[daN/cm <sup>3</sup> ]	[daN/cm <sup>3</sup> ]	[daN/cm <sup>2</sup> ]	[°]	[daN/cm <sup>2</sup> ]	[daN/cm <sup>2</sup> ]	[daN/cm <sup>2</sup> ]
0.0018	0.0021	0	30	-	-	400
Terreno sabbioso.						

I pesi di volume del terreno sono indicati nell'area (1). Il software utilizza il peso di volume secco per tutti gli spessori di terreno fuori falda, ed il peso di volume saturo per tutte quelle sotto falda.

E' possibile specificare il peso di volume naturale al posto del secco, nonostante la descrizione utilizzata, perché la finalità di questo dato è semplicemente quella di calcolare correttamente le pressioni verticali.

Nella zona (2) sono richieste le caratteristiche di deformabilità del terreno.

Il **modulo elastico** è utilizzato nella valutazione del comportamento dei pali in gruppo, col metodo dei fattori di interazione, e determina quindi qual'è l'influenza dell'abbassamento di un palo sui cedimenti di quelli circostanti.

Il **modulo di taglio** è utilizzato nel calcolo della ridistribuzione delle azioni agenti sulla fondazione

(considerata infinitamente rigida), sulle teste dei pali, e concorre a definire la rigidezza dell'insieme palo – terreno.

## 2.3.10 Stratigrafie

Questo pannello permette di definire le stratigrafie da utilizzare sui punti maglia.

**Stratigrafie**

**Stratigrafia 1**

**Stratigrafia 2**

**Nuova stratigrafia - da IS Muni**

**Strati di terreno per la stratigrafia selezionata**

	Z. ini	cm	Z. fin	cm	Ter.	Tip	No cm.
1	0	-310	-310	-310	Ter. 3	(Non coesivo)	<input type="checkbox"/>
2	-310	-520	-520	-520	Ter. 4	(Coesivo)	<input checked="" type="checkbox"/>
3	-520	-1340	-1340	-1340	Ter. 5	(Coesivo)	<input type="checkbox"/>
4	-1340	-2400	-2400	-2400	Ter. 6	(Non coesivo)	<input type="checkbox"/>

**Falde per la stratigrafia selezionata**

Z. ini	cm	Z. fin	cm	gw	daN/cm <sup>3</sup>	Attiva	Usa Zp	Z. piez.	cm

**Altre opzioni per la stratigrafia selezionata**

Cedimento max. ammissibile, a SLU: 6 cm

Cedimento max., a SLE, immediato: 3 cm

Cedimento max., a SLE, lungo periodo: 4 cm

E' possibile definire tante stratigrafie, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di stratigrafie (1), selezionandone una questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2) – (3) – (4), dove possono essere modificate.

Ogni stratigrafia rappresentata in (1), riporta un cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

Nella zona (2) è indicata la "composizione" della

stratigrafia, ossia la successione di tipologie di terreno che la descrive.

**Zini:** è la quota superiore di ciascuno strato, sempre coincidente con la quota inferiore di quello successivo. La quota superiore del primo strato definisce il piano campagna.

**Zfin:** è la quota inferiore di ciascuno strato, sempre coincidente con la quota superiore di quello precedente.

*Attenzione: La quota inferiore dell'ultimo strato definisce l'estremo della stratigrafia. Se un palo supera questa quota con un tratto di fusto e la base, questi non daranno contributo alla capacità portante. Per questo motivo, è sempre opportuno definire la stratigrafia per tutto lo spessore interessato dai pali (con un certo margine, dato che la portata di base è valutata con le caratteristiche medie del terreno nell'intorno della stessa).*

**Tipo:** indica la tipologia di terreno di questo strato, scelta tra l'elenco di quelle già definite.

**No cin.:** indice se l'interfaccia tra lo strato attuale e quello successivo (sottostante) va trascurata ai fini del calcolo dell'interazione cinematica. Questa possibilità può essere sfruttata quando si definiscono degli strati "fittizi", non reali, per ragioni non collegate con l'analisi sismica.

Nella zona **(3)** si indica la presenza di eventuali falde:

**Zini:** è la quota superiore di ciascuna falda

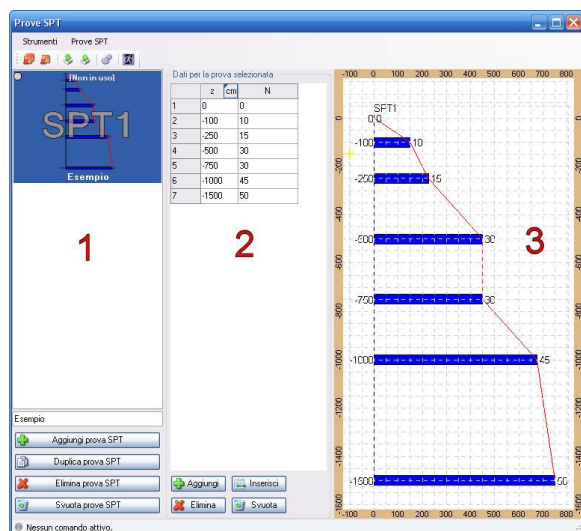
**Zfin:** è la quota inferiore di ciascuna falda

**gw:** è il peso di volume del liquido

**Attiva:** indica se la falda è attiva, cioè se va considerata nel modello di calcolo. Una falda disattiva, non viene cancellata dal database del programma, ma è come se non esistesse.

**Usa Zp e Zpiez:** questi due controlli vanno considerati contemporaneamente, e permettono di indicare la quota delle linea piezometrica della falda. Se **Usa Zp** è disattivo, la quota piezometrica è considerata coincidente con la quota superiore della falda. Se **Usa Zp** è attivo, a quota piezometrica è indicata dal valore riportato in **Zpiez**.

Nella zona **(4)** sono riportati dei valori non direttamente correlati alle caratteristiche litologiche o meccaniche di una stratigrafia, ma ad essa collegati per semplice comodità d'utilizzo. In pratica è possibile indicare i valori dei cedimenti assoluti massimi ammessi per i pali che utilizzino una certa stratigrafia, nelle diverse combinazioni di carico. Questo valore è a carico del progettista, e dipende dalle caratteristiche della struttura in elevato e dei relativi impianti tecnologici.



In basso a sinistra (sotto a **1**) sono presenti i tasti per aggiungere, duplicare o eliminare le stratigrafie.

Il trascinamento effettuato col mouse da **(1)** verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di assegnare direttamente una stratigrafia ad un punto maglia.

### 2.3.11 Prove SPT

Questo pannello permette di definire le Prove SPT che si intendono utilizzare nel programma.

E' possibile definire diverse prove, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella

relazione.

A sinistra è presente un elenco di prove (1), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2 e 3), dove possono essere modificate.

Ogni prova rappresentata in (1), riporta un cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

In basso a sinistra (sotto a 1) sono presenti i tasti per aggiungere nuove prove o eliminarne alcune.

Nella parte (2) sono riportate le quote ed i valori che definiscono la prova, e che saranno utilizzati dal programma, interpolando tra i valori di due quote se necessario. In basso (sotto a 2) sono presenti i tasti per aggiungere nuove coppie di valori per la prova attualmente selezionata.

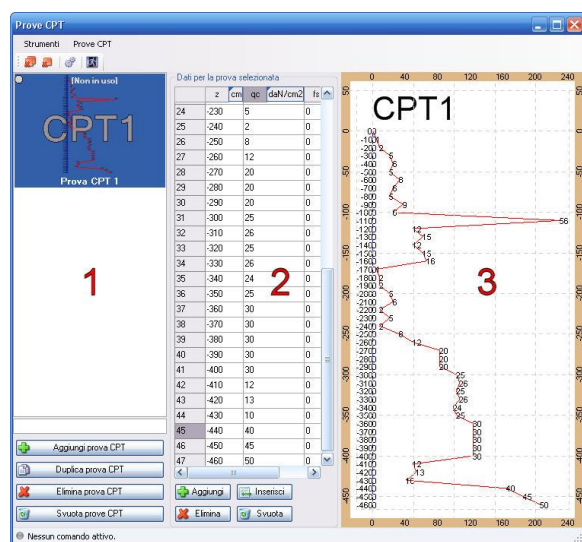
Nella parte (3) è riportata una rappresentazione grafica della prova.

Il trascinamento effettuato col mouse da (1) verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di aggiungere direttamente una prova all'insieme di quelle utilizzate da un punto maglia.

### 2.3.12 Prove CPT

Questo pannello permette di definire le Prove CPT che si intendono utilizzare nel programma.

E' possibile definire diverse prove, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.



A sinistra è presente un elenco di prove (1), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2 e 3), dove possono essere modificate.

Ogni prova rappresentata in (1), riporta un cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

In basso a sinistra (sotto a 1) sono presenti i tasti per aggiungere nuove prove o eliminarne alcune.

Nella parte (2) sono riportate le quote ed i valori che definiscono la prova, e che saranno utilizzati dal programma, interpolando tra i valori di due quote se necessario. In basso (sotto a 2) sono presenti i tasti per aggiungere nuove terne di valori per la prova

attualmente selezionata.

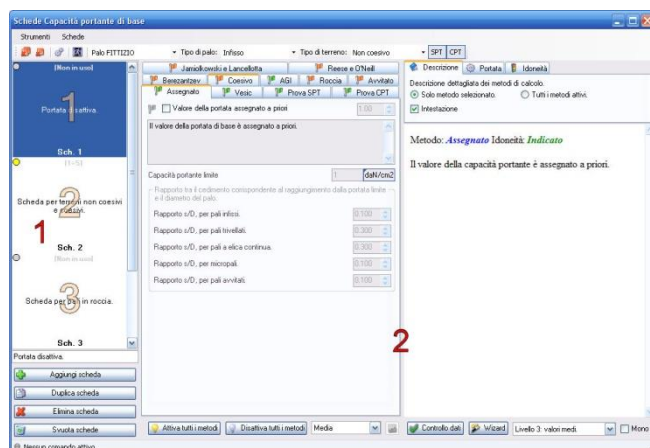
Nella parte (3) è riportata una rappresentazione grafica della prova.

Il trascinamento effettuato col mouse da (1) verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di aggiungere direttamente una prova all'insieme di quelle utilizzate da un punto maglia.

### 2.3.13 Schede di capacità portante di base, Qb

Questo pannello permette di definire le schede di calcolo, dedicate alla portata di base, che si intendono utilizzare nel programma.





E' possibile definire tante schede, ognuna differente dalle altre, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di schede (1), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2), dove possono essere modificate.

Ogni scheda rappresentata in (1), riporta un

cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

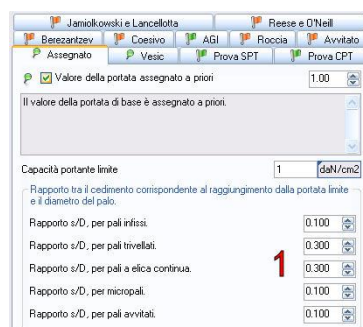
In basso a sinistra (sotto a 1) sono presenti i tasti per aggiungere nuove schede o eliminarne alcune.

Il trascinamento effettuato col mouse da (1) verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di assegnare direttamente una scheda ad un punto maglia.

Ciascuna scheda di calcolo può essere composta da uno o più metodi di calcolo. Se sono attivi più metodi, i calcoli vengono svolti per ciascuno di essi, ed il risultato finale è assunto pari alla media, o al valore minimo, o massimo tra i risultati parziali, secondo quanto indicato dall'utente.

Il software predispone automaticamente, all'avvio, un numero di schede di calcolo sufficiente a coprire i casi più frequenti.

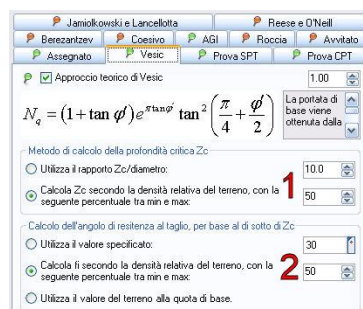
### 2.3.13.1 Metodo "Assegnato"



Si assegna la capacità portante limite (pressione), che verrà moltiplicata per l'area di base del palo per trovare il valore di Qb.

Le caselle 1 permettono di assegnare il valore del rapporto s/D a cui corrisponde la completa mobilitazione della capacità portante. Questo valore è dipendente dal tipo di palo, ed ha influenza sul calcolo dei cedimenti.

### 2.3.13.2 Metodo "Vesic"



Le caselle 1 permettono di scegliere il metodo di calcolo della profondità critica.

L'utente può:

- assegnare direttamente questa profondità in rapporto al diametro del palo
- permettere al software di calcolare automaticamente questo valore secondo la densità relativa del terreno, specificando un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.

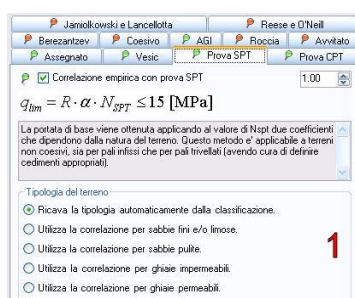
Le caselle 2 permettono di scegliere il metodo di calcolo dell'angolo di resistenza al taglio, per quote inferiori a quella critica (se la base si trova

sopra alla quota critica, si utilizza il valore di  $\phi$  del terreno).

L'utente può:

- assegnare direttamente un valore di  $\phi$ .
- permettere al software di calcolare automaticamente  $\phi$  secondo la densità relativa del terreno, specificando un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.
- utilizza il valore di  $\phi$  del terreno alla quota di base.

### 2.3.13.3 Metodo "Prova SPT"

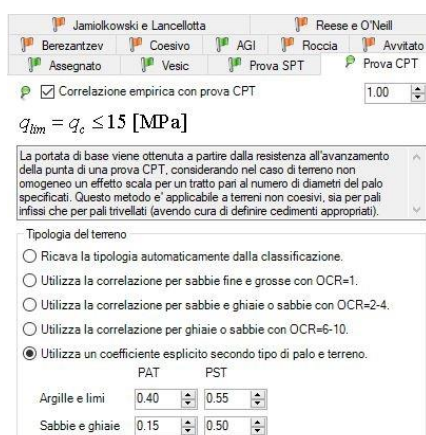


Le caselle 1 permettono di assegnare il metodo di calcolo dei coefficienti  $\alpha$  e R.

L'utente può:

- permettere al software di scegliere il metodo più appropriato secondo la classificazione del terreno.
- scegliere esplicitamente uno dei quattro metodi previsti.

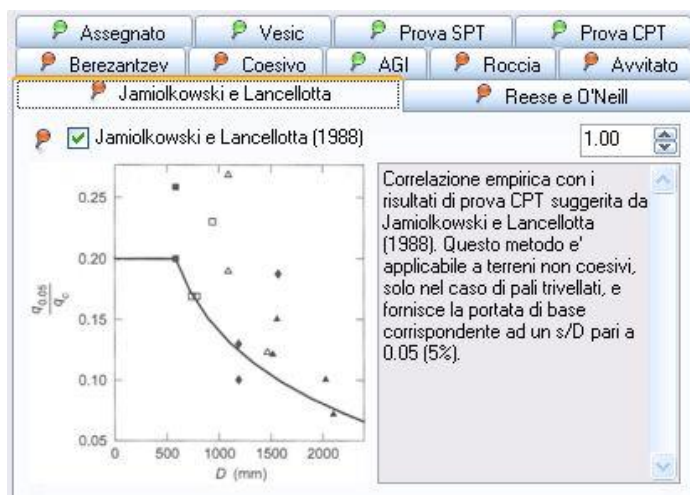
### 2.3.13.4 Metodo "Prova CPT"



Le caselle 1 permettono di assegnare il metodo di calcolo.

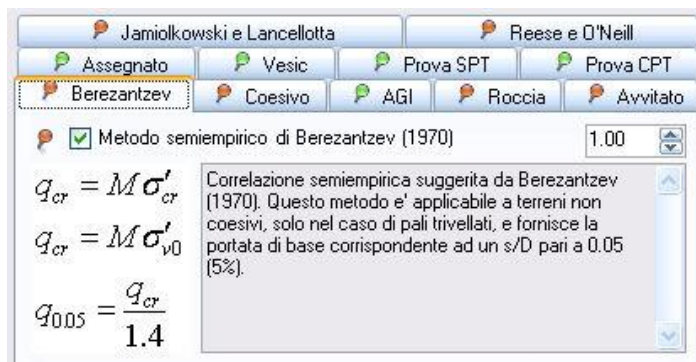
- La prima opzione, indica al software di scegliere il metodo più appropriato (tra le opzioni seguenti) secondo la classificazione del terreno.
- Le opzioni dalla seconda alla quarta, indicano esplicitamente quale correlazione utilizzare per la scelta dei coefficienti  $\alpha$  e R.
- L'ultima opzione, indica esplicitamente di utilizzare uno dei coefficienti sotto riportati (modificabili), secondo il tipo di palo (ad asportazione o spostamento di terreno) ed il tipo di terreno (coesivo o incoerente).

### 2.3.13.5 Metodo "Jamiolkowski e Lancellotta"



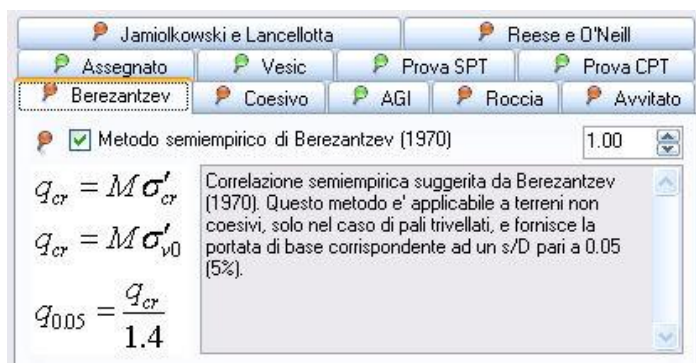
Questo metodo di calcolo è gestito internamente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

### 2.3.13.6 Metodo “Reese e O'Neill”



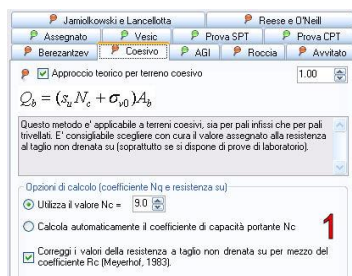
Questo metodo di calcolo è gestito interamente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

### 2.3.13.7 Metodo “Berezantzev”



Questo metodo di calcolo è gestito interamente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

### 2.3.13.8 Metodo “Coesivo”



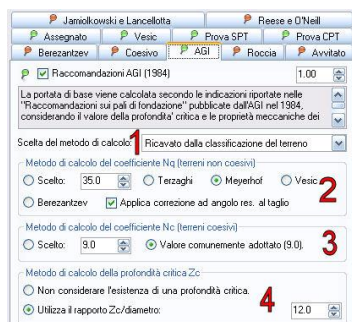
Le caselle **1** permettono di assegnare il metodo di calcolo del coefficiente di capacità portante  $N_c$ .

L'utente può:

- scegliere di utilizzare il valore convenzionale 9.
- indicare al programma di calcolare esplicitamente il coefficiente secondo i dati disponibili.

Opzionalmente, è possibile indicare se applicare dei coefficienti riduttori della resistenza al taglio non drenata.

### 2.3.13.9 Metodo “AGI”



La casella **1** permette di scegliere il metodo di calcolo esplicitamente, oppure di lasciare la scelta al programma secondo la tipologia di terreno incontrata.

Le caselle **2** governano i parametri del metodo per terreni sciolti, si può indicare con quale formula calcolare il coefficiente di capacità portante  $N_q$ , e se ridurre l'angolo di resistenza al taglio.

Le caselle **3** governano i parametri del metodo per terreni coesivi, si può assegnare il metodo di calcolo del coefficiente di capacità portante  $N_c$ .

La casella **4** permette di scegliere se considerare l'esistenza di una profondità critica, in rapporto al diametro del palo.

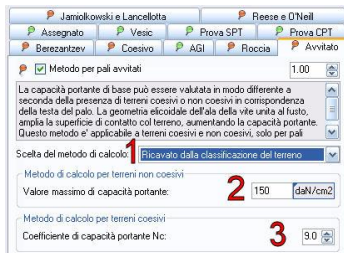
### 2.3.13.10 Metodo “Roccia”



L'utente può scegliere come correlare la resistenza monassiale della roccia alla capacità portante, che moltiplicata per la base del palo darà  $Q_b$ .

Utilizzando la casella **2**, si lascia al programma la scelta del coefficiente, indicando semplicemente un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.

### 2.3.13.11 Metodo “Avvitato”

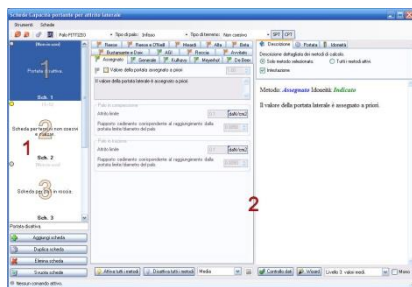


La casella **1** permette di scegliere il metodo di calcolo esplicitamente, oppure di lasciare la scelta al programma secondo la tipologia di terreno incontrata.

La casella **2** permette di assegnare un limite superiore al valore di capacità portante calcolato.

Le casella **3** permette di assegnare valore coefficiente di capacità portante  $N_c$ , per terreni coesivi, usualmente assunto pari a 9.

### 2.3.14 Schede di capacità portante laterale, $Q_s$



Questo pannello permette di definire le schede di calcolo, dedicate alla portata per attrito laterale, che si intendono utilizzare nel programma.

E' possibile definire tante schede, ognuna differente dalle altre, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di schede (**1**), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (**2**), dove possono essere modificate.

Ogni scheda rappresentata in (**1**), riporta un cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

In basso a sinistra (sotto a **1**) sono presenti i tasti per aggiungere nuove schede o eliminarne alcune.

Il trascinamento effettuato col mouse da (**1**) verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di assegnare direttamente una scheda ad un punto maglia.

Ciascuna scheda di calcolo può essere composta da uno o più metodi di calcolo. Se sono attivi più metodi, i calcoli vengono svolti per ciascuno di essi, ed il risultato finale è assunto pari alla media, o al valore minimo, o massimo tra i risultati parziali, secondo quanto indicato dall'utente.

Il software predispone automaticamente, all'avvio, un numero di schede di calcolo sufficiente a coprire i casi più frequenti.



### 2.3.14.1 Metodo “Assegnato”

Si assegna l’attrito unitario limite (pressione), che verrà moltiplicato per la superficie laterale del palo per trovare il valore di  $Q_s$ .

Le caselle **1** permettono di assegnare il valore del rapporto  $s/D$  a cui corrisponde la completa mobilitazione dell’attrito, per palo in compressione.

Le caselle **2** permettono di assegnare il valore del rapporto  $s/D$  a cui corrisponde la completa mobilitazione dell’attrito, per palo in trazione.

Questi valori hanno influenza sul calcolo dei cedimenti.

### 2.3.14.2 Metodo “Generale”

L’utente assegna direttamente il coefficiente di spinta e l’attrito palo terreno in modo diretto.

Le caselle **1** permettono di assegnare il valore dell’angolo di attrito palo – terreno  $\delta$ , che può essere assoluto o variare in funzione del materiale che governa l’interazione palo – terreno ad una certa quota.

Le caselle **2** permettono di assegnare il valore del coefficiente di spinta  $K$ , che può essere assoluto o variare in funzione del materiale che governa l’interazione palo – terreno ad una certa quota.

La casella **3** permette di scegliere se considerare l’esistenza di una profondità critica, in rapporto al diametro del palo.

### 2.3.14.3 Metodo “Kulhavy”

Si assegna l’attrito unitario limite (pressione), che verrà moltiplicato per la superficie laterale del palo per trovare il valore di  $Q_s$ .

Le caselle **1** permettono:

- di scegliere se considerare l’esistenza di una profondità critica, in rapporto al diametro del palo.
- di calcolare l’angolo di attrito palo – terreno  $\delta$ , indicando semplicemente un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.
- di calcolare il coefficiente di spinta  $K$ , indicando semplicemente un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.

Le caselle **2** permettono di specificare il grado di compattazione effettuata sul terreno.

#### 2.3.14.4 Metodo “Meyerhof”

Reese Reese e O'Neill Meardi Alfa Beta  
Bustamante e Doix AGI Roccia Avvitato  
Assegnato Generale Kulhavy Meyerhof De Beer

☒ Metodo di Meyerhof (1976) 1.00

**Palo infisso:**  

$$f_s = 0.002 N_{SPT} \text{ [MPa]}$$

**Palo trivellato:**  

$$f_s = 0.001 N_{SPT} \text{ [MPa]}$$
  
 con  $N_{SPT} < 60$

Correlazione empirica con i risultati di prova SPT suggerita da Meyerhof (1976). Questo metodo e' applicabile a terreni non coesivi, sia per pali infissi che per pali trivellati.

Questo metodo di calcolo è gestito intermente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

#### 2.3.14.5 Metodo “De Beer”

Reese Reese e O'Neill Meardi Alfa Beta  
Bustamante e Doix AGI Roccia Avvitato  
Assegnato Generale Kulhavy Meyerhof De Beer

☒ Metodo di De Beer (1985) 1.00

$$f_z = \frac{q_c}{200} \text{ se } q_c \geq 20 \text{ [MPa]}$$

$$f_z = \frac{q_c}{150} \text{ se } q_c \leq 10 \text{ [MPa]}$$

Correlazione empirica con i risultati di prova CPT suggerita da De Beer (1985). Questo metodo e' applicabile a terreni non coesivi, solo per pali infissi.

Questo metodo di calcolo è gestito intermente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

#### 2.3.14.6 Metodo “Reese”

Assegnato Generale Kulhavy Meyerhof De Beer  
Bustamante e Doix AGI Roccia Avvitato  
Reese Reese e O'Neill Meardi Alfa Beta

☒ Metodo di Reese (1976) 1.00

$$f_s = 0.0026 N_{SPT} \text{ [MPa]}$$
  
 con  $N_{SPT} < 50$

Correlazione empirica con i risultati di prova SPT suggerita da Reese (1976). Questo metodo e' applicabile a terreni non coesivi, solo per pali trivellati di grande diametro eseguiti in condizioni di controllo molto attento da un'impresa

Questo metodo di calcolo è gestito intermente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

### 2.3.14.7 Metodo “Reese e O’Neill”

Metodo di Reese e O'Neill (1989)

$$f_z = \beta \sigma'_{v0} \leq 0.2 \text{ [MPa]}$$

$$\beta = 1.5 - 0.245 \sqrt{z}$$

$z$  = approfondimento in metri

Metodo proposto da Reese e O'Neill (1989). Questo metodo e' applicabile a terreni non coesivi, solo per pali trivellati.

Questo metodo di calcolo è gestito interamente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

### 2.3.14.8 Metodo “Meardi”

Metodo di Meardi (1983)

$$f_z = \gamma_{cls} z \tan \phi$$

$\gamma_{cls}$  = peso di volume del calcestruzzo

$z$  = approfondimento,  $\leq z_{max}$

Metodo proposto da Meardi (1983). Questo metodo e' applicabile a terreni non coesivi, solo per pali trivellati.

Opzioni di calcolo:

Peso di volume del cls: 1 0.0025 daN/cm<sup>3</sup>

Approfondimento oltre cui la pressione palo-terreno assume un valore asintotico costante: 1000 cm

Le caselle 2 permettono di specificare il peso di volume del cls gettato, e l'approfondimento oltre cui la pressione del cls, durante il getto, raggiunge un valore asintotico.

### 2.3.14.9 Metodo “Alfa”

Metodo alfa per terreni coesivi

$$Q_s = f_s A_s = (\alpha s_u) A_s$$

Metodo per terreni coesivi, in termini di tensioni totali. Questo metodo e' applicabile a terreni coesivi, per pali infissi o trivellati.

Opzioni per palo infisso:

Utilizza il valore di alfa specificato: 0.45

Calcola il valore di alfa secondo il metodo di Olson e Dennis.

Utilizza il valore di alfa specificato, secondo il materiale:

Cte Pre	Cte Op	Acc	Leg	Spi	Alt
0.45	0.45	0.75	0.45	1	0.45

Opzioni per palo trivellato:

Utilizza il valore di alfa specificato: 0.45

Valore suggerito da Skempton: 0.45

Utilizza la correlazione di Stas e Kulhavy: 1 daN/cm<sup>2</sup>

Utilizza il valore di alfa specificato, secondo il materiale:

Cte Pre	Cte Op	Acc	Leg	Spi	Alt
0.45	0.45	0.75	0.45	1	0.45

Il metodo si basa sul coefficiente empirico  $\alpha$  che determina l'attrito palo – terreno.

Le caselle 1 permettono di assegnare il valore di  $\alpha$  per pali infissi, le 2 per pali trivellati.

In entrambi i casi, è possibile riferirsi a teorie consolidate, o assegnare un valore assoluto, oppure un valore variabile in funzione del materiale che governa l'interazione palo – terreno ad una certa quota.

### 2.3.14.10 Metodo “Beta”

Metodo beta per terreni coesivi

$$Q_s = f_s A_s = ((K \tan \delta) \sigma'_{v0}) A_s = (\beta \sigma'_{v0}) A_s$$

Metodo per terreni coesivi, in termini di tensioni efficaci. Questo metodo e' applicabile a terreni coesivi, per pali infissi o trivellati, secondo la correlazione scelta.

Opzioni di calcolo:

Utilizza i valori dell'angolo palo - terreno e del coefficiente di spinta di seguito specificati: 1 34 0.440

Calcola automaticamente l'angolo di attrito palo-terreno ed il coefficiente di spinta, utilizzando i suggerimenti di Burland (1973), Flaat e Selnes (1977) e Fleming (1985).

Il metodo di calcolo si basa sull'angolo di attrito palo – terreno  $\delta$ , e sul coefficiente di spinta  $K$ .

Le caselle 1 permettono:

- di assegnare direttamente i valori di  $\delta$  e  $K$ .
- di far calcolare i due valori a programma, utilizzando i suggerimenti e le formule fornite da vari Autori.

### 2.3.14.11 Metodo “Bustamante e Doix”

Assegnato Generale Kulhavy Meyerhof De Beer  
Reese Reese e O'Neill Meardi Alfa Beta  
Bustamante e Doix AGI Roccia Avvitato LCPC

☒ Metodo di Bustamante e Doix (1985) 1.00

Metodo di Bustamante e Doix per micropali (1985). Questo metodo e' applicabile a terreni coesivi e non coesivi.

Sceita del metodo di calcolo:  
Da Nspt o su, secondo la classificazione del terreno

Tipologia di iniezione della malta cementizia  
☒ IRS o IGU, secondo i tratti del palo.  
☐ IGU - Iniezione globale unica, in pressione ( $\geq 10$  atm) per l'intera lunghezza del palo.  
☐ IRS - Iniezioni ripetute e selettive ad alta pressione (20 atm e oltre), per l'intera lunghezza del palo.

Incremento % del diametro del bulbo rispetto al diametro di perforazione, tra il valore min e max previsto dagli Autori. 3 50

Coefficiente moltiplicatore di Nspt (per i tratti non iniettati): 4 0.01

Coefficiente moltiplicatore di su (per i tratti non iniettati): 4 0.45

La casella **1** permette di scegliere quali tabelle utilizzare secondo la tipologia di terreno, per ottenere i parametri empirici utilizzati nel calcolo. Si può indicare direttamente la tipologia di terreno, oppure lasciare che il programma la derivi dalla classificazione già assegnata.

Le caselle **2** permettono di scegliere quali tabelle utilizzare secondo il tipo di palo (più precisamente, secondo il tipo di iniezione effettuata lungo il palo).

La casella **3** governa il calcolo dell'incremento di diametro del bulbo rispetto al diametro di perforazione. Si indica un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.

La casella **4** indica al programma quale correlazione utilizzare per i tratti iniettati in bassa pressione. La correlazione di *Bustamante e Doix* vale infatti soltanto per iniezioni ad alta pressione di tipo IGU o IRS. Per i tratti del palo riempiti per colatura o a bassa pressione, il software utilizza una correlazione con  $N_{spt}$  o  $s_u$ , secondo la natura del terreno, utilizzando i coefficienti indicati dall'utente.

### 2.3.14.12 Metodo “AGI”

Reese Reese e O'Neill Meardi Alfa Beta  
Assegnato Generale Kulhavy Meyerhof De Beer  
Bustamante e Doix AGI Roccia Avvitato

☒ Raccomandazioni AGI (1984) 1.00

La portata per attrito laterale viene calcolata secondo le indicazioni riportate nelle "Raccomandazioni sui pali di fondazione" pubblicate dall'AGI nel 1984, considerando il valore della profondità critica e le proprietà meccaniche del terreno.

Sceita del metodo di calcolo: 1 Ricevuto dalla classificazione del terreno

Metodo di calcolo del coefficiente di spinta  $k$  (terreni non coesivi)  
Percentuale di attrito palo-terreno: 2 50

Metodo di calcolo dell'adesione-attrito (terreni coesivi)  
☒ Calcolo in tensioni totali. ☐ Calcolo in tensioni efficaci. 3

Metodo di calcolo della profondità critica  $Z_c$  (solo per tensioni efficaci)  
☐ Non considerare l'esistenza di una profondità critica. 4  
☒ Utilizza il rapporto  $Z_c/\text{diametro}$ : 10.0

La casella **1** permette di scegliere il metodo di calcolo esplicitamente, oppure di lasciare la scelta al programma secondo la tipologia di terreno incontrata.

La casella **2**, per terreni sciolti, governa il calcolo del coefficiente di spinta  $K$ . Si indica un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.

Le caselle **3**, per terreni coesivi, indicano se effettuare il calcolo in tensioni totali o efficaci.

Le caselle **4**, permettono di scegliere se considerare l'esistenza di una profondità critica, in rapporto al diametro del palo.

### 2.3.14.13 Metodo “Roccia”

Reese Reese e O'Neill Meardi Alfa Beta  
Assegnato Generale Kulhavy Meyerhof De Beer  
Bustamante e Doix AGI Roccia Avvitato

☒ Metodo per pali in roccia 1.00

Correlazione empirica per roccia. Questo metodo e' applicabile a strati rocciosi, per pali che vi siano incastrati.

Attrito laterale per roccia intatta o debolmente fratturata  
Rapporto tra attrito laterale  $f_s$  e resistenza a compressione monoassiale della roccia  $q_u$  1 0.050

☐ Trascura la presenza di malta tra palo e roccia, con resistenza max  $f_{cd}$   
☒ Considera resistenza malta: 0.050 130 daN/cm2

Attrito laterale per roccia notevolmente fratturata  
☐ Procedi come nel caso di roccia intatta o debolmente fratturata 2  
☐ Utilizza il seguente valore di attrito laterale  $f_s$ : 1 daN/cm2  
☒ Utilizza un valore nell'intervallo comunemente adottato, con la seguente percentuale tra min e max: 50

Le caselle **1** permettono di calcolare l'attrito – palo terreno in funzione della resistenza a compressione monoassiale della roccia  $q_u$ , eventualmente limitandone il valore alla resistenza della malta cementizia che rappresenta l'interfaccia palo – terreno.

Le caselle **2**, nel caso di roccia notevolmente fratturata, permettono di indicare un limite all'attrito palo – terreno calcolato in funzione di  $q_u$ .



### 2.3.14.14 Metodo “Avvitato”

Le caselle **1**, per terreni sciolti, permettono di scegliere come calcolare l'attrito palo – terreno  $\delta$  ed il coefficiente di spinta  $K$ , facendo distinzione tra i tratti di tubo “liscio” ed i tratti che presentano le spire della vite.

Le caselle **2**, per terreni coesivi, permettono di scegliere come calcolare il coefficiente  $\alpha$ , facendo distinzione tra i tratti di tubo “liscio” ed i tratti che presentano le spire della vite.

Le caselle **3**, per analisi in condizioni drenate, permettono di scegliere se considerare l'esistenza di una profondità critica, in rapporto al diametro del palo.

### 2.3.15 Metodo “LCPC”

La casella **1**, permette di imporre il tipo di palo utilizzato per calcolare il valore dell'attrito palo – terreno, oppure di lasciare la scelta al programma secondo la classificazione del palo precedentemente effettuata.

La casella **2**, permette di imporre il tipo di terreno utilizzato per calcolare il valore dell'attrito palo – terreno, oppure di lasciare la scelta al programma secondo la classificazione del terreno precedentemente effettuata.

Nella casella **3** va indicato un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela, che governa l'interpolazione tra i due valori limite dell'attrito indicati dagli Autori, nel caso in cui il valore non sia univoco.

### 2.3.16 Schede di resistenza dell'ancoraggio, Ra

Questo pannello permette di definire le schede di calcolo, dedicate alla resistenza di un ancoraggio, che si intendono utilizzare nel programma.

E' possibile definire tante schede, ognuna differente dalle altre, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di schede (**1**), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (**2**), dove possono essere modificate.

Ogni scheda rappresentata in (**1**), riporta un cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

In basso a sinistra (sotto a **1**) sono presenti i tasti per aggiungere nuove schede o eliminarne alcune.

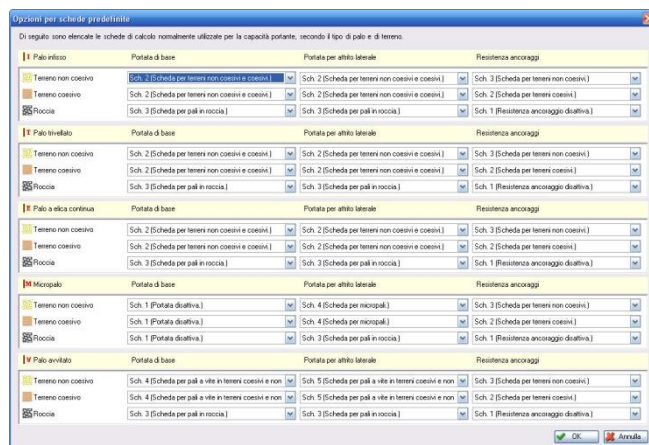
Il trascinamento effettuato col mouse da (**1**) verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di assegnare direttamente una scheda ad un punto maglia.

Ciascuna scheda di calcolo è composta da un solo metodo di calcolo.

Il software predispone automaticamente, all'avvio, un numero di schede di calcolo sufficiente a coprire i casi più frequenti.

### 2.3.17 Schede predefinite, per Qb, Qs e Ra

Questo pannello è dedicato alla scelta delle schede di calcolo predefinite, tra quelle definite nelle rispettive finestre di dialogo.



Tutto il pannello è occupato da una tabella, il cui scopo è indicare al programma quale scheda di calcolo (cioè quale teoria o modello) utilizzare per il calcolo dei una portata o resistenza, secondo la situazione incontrata.

La situazione incontrata è definita dalla tipologia di palo e dalla natura del terreno.

In altre parole, il software, durante il calcolo, palo per palo e strato per strato, fa riferimento a questa tabella per scegliere la scheda di calcolo da

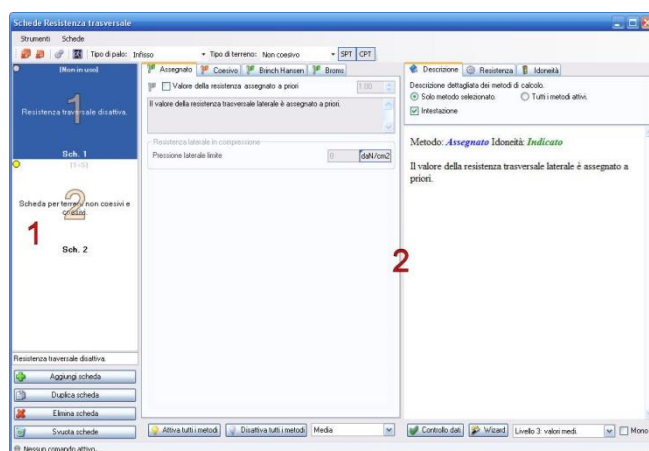
utilizzare, secondo la tipologia di infissione del palo e la tipologia del terreno.

Questo modo di procedere è adatto alla grande maggioranza dei casi, dato che le schede predefinite sono già all'avvio predisposte per coprire la maggior parte delle situazioni che si incontrano operativamente.

*Attenzione: L'utente ha sempre la possibilità, per un singolo punto maglia, di definire una procedura personalizzata per il calcolo delle portate o resistenze, utilizzando il pannello di assegnazione diretta delle schede di calcolo, descritto in un'altra sezione di questo manuale.*

### 2.3.18 Schede di resistenza trasversale, Tr

Questo pannello permette di definire le schede di calcolo, dedicate alla resistenza trasversale, che si intendono utilizzare nel programma.



E' possibile definire tante schede, ognuna differente dalle altre, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di schede (1), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2), dove possono essere modificate.

Ogni scheda rappresentata in (1), riporta un

cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

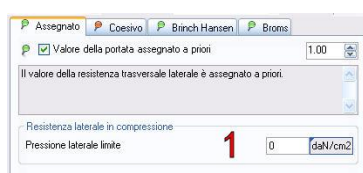
In basso a sinistra (sotto a 1) sono presenti i tasti per aggiungere nuove schede o eliminarne alcune.

Il trascinamento effettuato col mouse da (1) verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di assegnare direttamente una scheda ad un punto maglia.

Ciascuna scheda di calcolo può essere composta da uno o più metodi di calcolo. Se sono attivi più metodi, i calcoli vengono svolti per ciascuno di essi, ed il risultato finale è assunto pari alla media, o al valore minimo, o massimo tra i risultati parziali, secondo quanto indicato dall'utente.

Il software predispone automaticamente, all'avvio, un numero di schede di calcolo sufficiente a coprire i casi più frequenti.

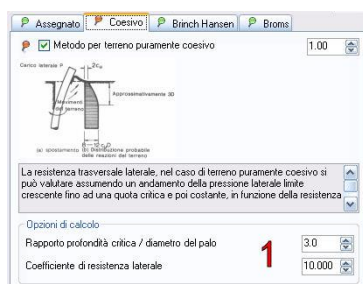
### 2.3.18.1 Metodo "Assegnato"



Si assegna la pressione unitaria limite, che verrà moltiplicata per il diametro e integrata lungo la lunghezza del palo per ottenere la resistenza trasversale.

La casella 1 permette di assegnare il valore della pressione limite.

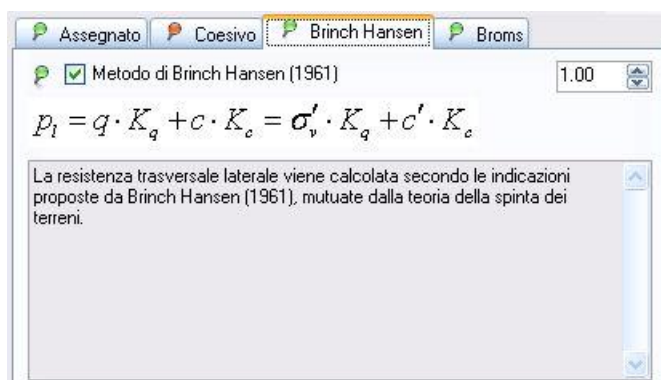
### 2.3.18.2 Metodo "Coesivo"



Le caselle 1 permettono di assegnare:

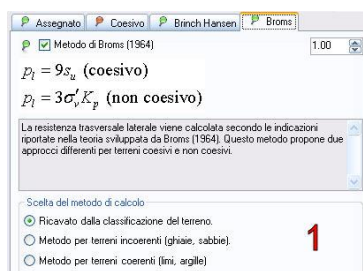
- il coefficiente di resistenza laterale, che moltiplica la resistenza al taglio non drenata per ottenere la pressione laterale limite.
- la profondità critica, oltre cui la resistenza laterale raggiunge un valore asintotico, in rapporto al diametro del palo.

### 2.3.18.3 Metodo "Brinch Hansen"



Questo metodo di calcolo è gestito interamente dal programma, l'utente non può modificarne i parametri.

### 2.3.18.4 Metodo "Broms"

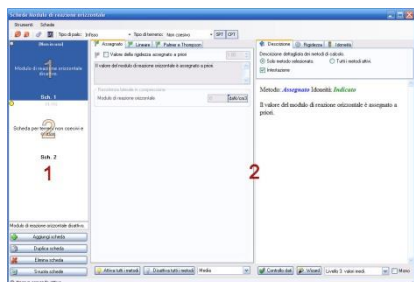


Le caselle 1 permettono di scegliere il metodo di calcolo esplicitamente, oppure di lasciare la scelta al programma secondo la tipologia di terreno incontrata.



### 2.3.19 Schede di modulo di resistenza orizzontale, Ks

Questo pannello permette di definire le schede di calcolo, dedicate al modulo di resistenza orizzontale, che si intendono utilizzare nel programma.



E' possibile definire tante schede, ognuna differente dalle altre, ed utilizzarne una sola oppure solo un certo numero: quelle non utilizzate non influenzeranno il calcolo né saranno riportate nella relazione.

A sinistra è presente un elenco di schede (1), selezionandone una, questa viene evidenziata in blu, e le sue caratteristiche sono riportate nella parte destra della finestra (2), dove possono essere modificate.

Ogni scheda rappresentata in (1), riporta un cerchietto giallo e l'elenco dei punti maglia che la utilizzano, oppure un cerchietto grigio se non è utilizzata da nessun punto.

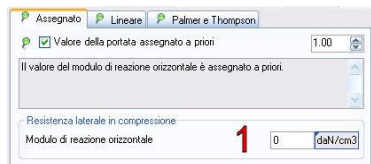
In basso a sinistra (sotto a 1) sono presenti i tasti per aggiungere nuove schede o eliminarne alcune.

Il trascinamento effettuato col mouse da (1) verso il disegno in pianta rappresentato sulla finestra principale, permette di assegnare direttamente una scheda ad un punto maglia.

Ciascuna scheda di calcolo può essere composta da uno o più metodi di calcolo. Se sono attivi più metodi, i calcoli vengono svolti per ciascuno di essi, ed il risultato finale è assunto pari alla media, o al valore minimo, o massimo tra i risultati parziali, secondo quanto indicato dall'utente.

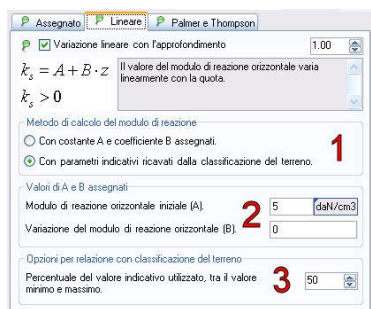
Il software predispone automaticamente, all'avvio, un numero di schede di calcolo sufficiente a coprire i casi più frequenti.

#### 2.3.19.1 Metodo "Assegnato"



La casella 1 permette di assegnare direttamente il valore del coefficiente di reazione del terreno, che viene assunto costante all'interno dello strato.

#### 2.3.19.2 Metodo "Lineare"



Le caselle 1 permettono di scegliere il metodo di calcolo del coefficiente di reazione del terreno, che può essere specificato dall'utente oppure proposto dal programma facendo riferimento a suggerimenti tratti da letteratura tecnica.

Se il calcolo è svolto in funzione dei parametri proposti dall'utente, questi vanno inseriti nelle 2, e definiscono la variazione lineare del coefficiente di reazione del terreno con la quota.

Se il calcolo è lasciato al programma, nella casella 3 si indica un valore percentuale, per il quale 0 corrisponde a massima cautela e 100 a minima cautela.

### 2.3.19.3 Metodo “Palmer e Thompson”

Le caselle **1** permettono di assegnare il valore del coefficiente di reazione del terreno, in corrispondenza alla base del palo.

Le caselle **2** permettono di assegnare il valore dell'esponente utilizzato dalla formula.

### 2.3.20 Schede predefinite, per Tr e Ks

Questo pannello è dedicato alla scelta delle schede di calcolo predefinite, tra quelle definite nelle rispettive finestre di dialogo.

Tutto il pannello è occupato da una tabella, il cui scopo è indicare al programma quale scheda di calcolo (cioè quale teoria o modello) utilizzare per il calcolo dei una resistenza o rigidezza, secondo la situazione incontrata.

La situazione incontrata è definita dalla tipologia di palo e dalla natura del terreno.

In altre parole, il software, durante il calcolo, palo per palo e strato per strato, fa riferimento a questa tabella per scegliere la scheda di calcolo da utilizzare, secondo la tipologia di infissione del palo e la tipologia del terreno.

Questo modo di procedere è adatto alla grande maggioranza dei casi, dato che le schede predefinite sono già all'avvio predisposte per coprire la maggior parte delle situazioni che si incontrano operativamente.

*Attenzione: L'utente ha sempre la possibilità, per un singolo punto maglia, di definire una procedura personalizzata per il calcolo delle portate o resistenze, utilizzando il pannello di assegnazione diretta delle schede di calcolo, descritto in un'altra sezione di questo manuale.*

### 2.3.21 Assegnazione della tipologia di palo e della stratigrafia

Questo pannello riassume i tipi di palo e le stratigrafie assegnate ai punti maglia.

Ciascuna riga della tabella è dedicata ad un diverso punto maglia.

La colonna **Palo**, zona **(1)**, permette di leggere o assegnare la tipologia di palo utilizzata in un punto maglia.

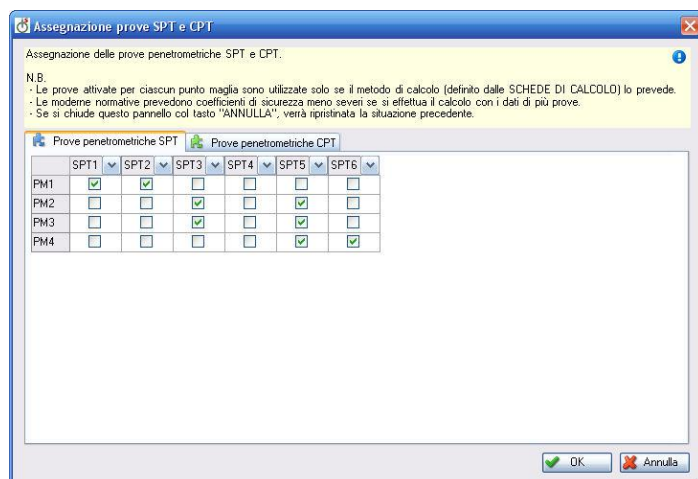
La colonna **Stratigrafia**, zona **(2)**, permette di leggere o assegnare la stratigrafia utilizzata in un punto maglia.

Le colonne successive, zona **(3)**, indicano l'indice della scheda di calcolo utilizzata per

calcolare portate e rigidezze.

In basso a destra sono riportati i tasti che permettono di confermare o annullare le modifiche eventualmente apportate e chiudere il pannello.

### 2.3.22 Assegnazione delle prove SPT e CPT



Questo pannello riassume le prove penetrometriche pertinenti ai punti maglia.

Ciascuna riga della tabella è dedicata ad un diverso punto maglia.

Le colonne sono dedicate, ciascuna, ad una diversa prova precedentemente inserita tra i dati.

In ciascuna colonna è possibile attivare o spegnere un segno di spunta, per stabilire se un punto maglia può far riferimento ai dati della prova relativa.

Se all'incrocio di una riga ed una colonna è presente il segno di spunta, il punto maglia a cui fa riferimento la riga può utilizzare la prova a cui fa riferimento la colonna.

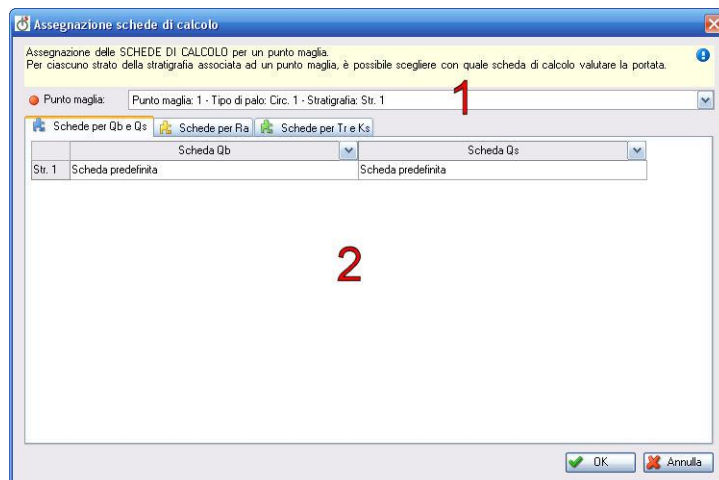
Ciascun punto maglia può utilizzare più prove. Abitualmente sarà presente soltanto una prova per punto maglia (o nessuna, se il dato non è disponibile), ma se ve ne sono in numero maggiore di uno, il software si comporta come segue:

- per la determinazione delle resistenze (portate, resistenza trasversale, ecc.) eseguirà un calcolo separato per ciascuna prova, ricaverà il valore medio ed il valore minimo delle resistenze determinate, ed adotterà i coefficienti di sicurezza idonei per determinare la resistenza di calcolo.
- per altre verifiche (ad esempio, la verifica a liquefazione con CRR/CSR), eseguirà i calcoli con ciascuna prova e conserverà i risultati più severi per la verifica.

E' anche possibile che ad un punto maglia siano assegnate delle prove ma queste non vengano affatto utilizzate, ad esempio se la verifica a liquefazione è disattivata dall'utente, e si scelgono metodi di calcolo delle portate che utilizzano soltanto i parametri meccanici del terreno, nessun calcolo farà riferimento ai dati delle prove.

### 2.3.23 Assegnazione delle schede di calcolo

Questo pannello riassume le schede di calcolo assegnate ai punti maglia, per la capacità portante laterale e di base, per la resistenza degli ancoraggio, per la resistenza trasversale ed il modulo di reazione.



Nella zona (1) si deve scegliere un punto maglia, a cui faranno riferimento i dati riportati nella tabella (2).

Nella tabella (2), per ciascuno strato della stratigrafia assegnata al punto maglia (1), è possibile assegnare una scheda:

a) scegliendo di utilizzare la **scheda predefinita**

b) scegliendo una scheda di calcolo specifica tra quelle predisposte tra i dati del programma.

Nel caso a), al momento di eseguire un calcolo, il software sceglie la scheda predefinita in funzione della tipologia di palo e della tipologia di

terreno. In questo modo, è possibile cambiare tipologia di palo o terreno su un punto maglia, ed essere sicuri che il programma scelga sempre il metodo di calcolo più adatto al caso analizzato (dove per “più adatto”, si intende quello indicato nel pannello di scelta delle schede predefinite).

Nel caso **b)**, il software utilizza la scheda indicata dall’utente senza eseguire modifiche o valutazioni di nessun tipo, anche se l’utente cambia la tipologia di palo assegnata al punto maglia. In questo modo, è possibile definire una procedura personalizzata per il calcolo delle portate, ed essere certi che il software la utilizzi direttamente.

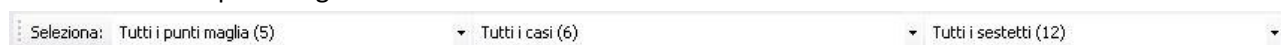
## 2.4 Finestra principale

### 2.4.1 Barra di selezione

Nella parte alta della finestra principale, al di sotto del menu principale e della barra delle icone, si trova la barra di selezione del punto maglia, caso e sestetto di carico.

Questo controllo è fondamentale per indicare al software quali uscite grafiche rappresentare.

Se la barra ha l’aspetto seguente:



tutti i punti maglia e tutti i casi di carico e sestetti sono selezionati.

Questo indica al software di cercare e rappresentare la situazione peggiore, per ciascuna verifica, tra tutti i punti maglia in tutti i casi di carico.

In queste condizioni non sono disponibili tutte le uscite grafiche, perché alcune perdono di significato e non sono rappresentabili (ad esempio, per il software, non è possibile rappresentare l’involuppo dei momenti agenti lungo tutti i pali, dato che i pali potrebbero avere lunghezza differente).

La finestra del disegno di dettaglio è vuota, perché non c’è alcun palo selezionato.



La finestra delle verifiche in formato tabellare rappresenta una tabella riassuntiva di tutte le verifiche eseguite per tutti i casi di carico, dove per ciascuna verifica eseguita è indicato il coefficiente di sicurezza minore, il relativo punto maglia e caso di carico di riferimento.

Se la barra ha l’aspetto seguente:



è stato selezionato un solo punto maglia, un caso di carico ed un preciso sestetto.

In queste condizioni sono disponibili tutte le uscite grafiche, con riferimento preciso alla situazione indicata. All’interno di ciascuna casella di selezione è riportata un’indicazione riguardante le verifiche: nel caso di un disco verde sono tutte superate, se il disco è rosso non lo sono ed è presente l’elenco delle situazioni di non verifica.



La finestra del disegno di dettaglio rappresenta il palo relativo al punto maglia selezionato, con i grafici riguardanti le verifiche per il caso e sestetto selezionati.

Punto maglia 1: N12, Tipo C1, Caso 2, Sest. 2

C. Post.	Cedim.	R. Tras.	Sp. Ori.	C.A.M.	C.A.V.	C.A.1.d.	C.A.1.ac.	C.A.1.f.	C.A.1.%
[daN/m²]	[mm]	[mm]	[mm]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]
10741.5552	22	100	100	146289.224443	13375.766	---	---	---	---
1.92	40	100	100	1.54	17.46	---	---	---	---

C. Post. = Capacità portante / Cedim. = Cedimento / R. Tras. = Resistenza trasversale / Sp. Ori. = Spostamento orizzontale  
C.A.M. = C.A. - preconsolidazione / C.A.V. = C.A. - taglio / C.A.1.d. = C.A. - Tens. limite di / C.A.1.ac. = C.A. - Tens. limite  
acciso / C.A.1.f. = C.A. - apertura fessure / C.A.1.% = C.A. - % am. longitudinale / ... = Verifica non prevista

La finestra delle verifiche in formato tabellare rappresenta una tabella riassuntiva dei coefficienti di sicurezza ottenuti, per tutte le verifiche eseguite, per il punto maglia selezionato, nel caso e sestetto indicati.

Se la barra ha l'aspetto seguente:

Selezione: ☒ Punto maglia 1 No: 3 Tutti i casi (6) Tutti i sestetti (12)

è stato selezionato un solo punto maglia, ma nessun caso di carico o sestetto.

In queste condizioni sono disponibili tutte le uscite grafiche, con riferimento al punto maglia selezionato, riassumendo tutti i casi di carico inseriti tra i dati.

All'interno della casella di selezione del punto maglia è riportata un'indicazione riguardante le verifiche: nel caso di un disco verde sono tutte superate, se il disco è rosso non lo sono ed è presente l'elenco dei casi di carico di non verifica.



La finestra del disegno di dettaglio rappresenta il palo relativo al punto maglia selezionato, con la sovrapposizione dei diagrammi di verifica per tutti i casi ed i sestetti analizzati.

Punto maglia 1: N12, Tipo C1, Caso 3, Tutti i sestetti (4)

C. Post.	Cedim.	R. Tras.	Sp. Ori.	C.A.M.	C.A.V.	C.A.1.d.	C.A.1.ac.	C.A.1.f.	C.A.1.%
[daN/m²]	[mm]	[mm]	[mm]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]
10741.7599	33	269340.2535	22	max 356391.397945	13556.2535	---	---	---	---
1.41	60	106.25	60	0.90	5.35	---	---	---	---

C. Post. = Capacità portante / Cedim. = Cedimento / R. Tras. = Resistenza trasversale / Sp. Ori. = Spostamento orizzontale  
C.A.M. = C.A. - preconsolidazione / C.A.V. = C.A. - taglio / C.A.1.d. = C.A. - Tens. limite di / C.A.1.ac. = C.A. - Tens. limite  
acciso / C.A.1.f. = C.A. - apertura fessure / C.A.1.% = C.A. - % am. longitudinale / ... = Verifica non prevista

La finestra delle verifiche in formato tabellare rappresenta una tabella riassuntiva dei coefficienti di sicurezza ottenuti, per tutte le verifiche eseguite, per il punto maglia selezionato, per tutti i casi ed i sestetti analizzati.

Se la barra ha l'aspetto seguente:

Selezione: ☒ Punto maglia 1 Non verificato ☒ Caso 3 SLU Non verificato Tutti i sestetti (4)

è stato selezionato un solo punto maglia, in un singolo caso di carico con tutti i sestetti di cui è composto.

All'interno delle caselle di selezione del punto maglia e del caso di carico è riportata un'indicazione riguardante le verifiche: nel caso di un disco verde sono tutte superate, se il disco è rosso non lo sono.



La finestra del disegno di dettaglio rappresenta il palo relativo al punto maglia selezionato, con la sovrapposizione dei diagrammi di verifica per tutti i sestetti del caso analizzato.

Punto maglia 1: N12, Tipo C1, Caso 3, Tutti i sestetti (4)

C. Post.	Cedim.	R. Tras.	Sp. Ori.	C.A.M.	C.A.V.	C.A.1.d.	C.A.1.ac.	C.A.1.f.	C.A.1.%
[daN/m²]	[mm]	[mm]	[mm]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]	[daN/m²]
10741.7599	33	269340.2535	22	max 356391.397945	13556.2535	---	---	---	---
1.41	60	106.25	60	0.90	5.35	---	---	---	---

C. Post. = Capacità portante / Cedim. = Cedimento / R. Tras. = Resistenza trasversale / Sp. Ori. = Spostamento orizzontale  
C.A.M. = C.A. - preconsolidazione / C.A.V. = C.A. - taglio / C.A.1.d. = C.A. - Tens. limite di / C.A.1.ac. = C.A. - Tens. limite  
acciso / C.A.1.f. = C.A. - apertura fessure / C.A.1.% = C.A. - % am. longitudinale / ... = Verifica non prevista

La finestra delle verifiche in formato tabellare rappresenta una tabella riassuntiva dei coefficienti di sicurezza ottenuti, per tutte le verifiche eseguite, per il punto maglia selezionato, per tutti i sestetti analizzati del caso di carico analizzato.

Se la barra ha l'aspetto seguente:

Selezione: Tutti i punti maglia (5) ☒ Caso 3 SLU No: 1+3 Tutti i sestetti (4)

è stato selezionato un solo caso di carico con tutti i sestetti di cui è composto, e tutti i punti maglia rappresentati in pianta.

In queste condizioni non sono disponibili tutte le uscite grafiche, perché alcune perdono di significato e non sono rappresentabili (ad esempio, per il software, non è possibile rappresentare l'involuppo dei momenti agenti lungo tutti i pali, dato che i pali potrebbero avere lunghezza differente).

All'interno della casella di selezione del caso di carico è riportata un'indicazione riguardante le verifiche: nel caso di un disco verde sono tutte superate, se il disco è rosso non lo sono.

La finestra del disegno di dettaglio è vuota, perché non c'è alcun palo selezionato.

[illegible]

La finestra delle verifiche in formato tabellare rappresenta una tabella riassuntiva dei coefficienti di sicurezza minimi ottenuti, per tutte le verifiche eseguite nel caso di carico selezionato, con indicazione del corrispondente punto maglia.

Se la barra ha l'aspetto seguente:

Selezione: Tutti i punti maglia (5) ▼ ● Caso 3 SLU No: 1+3 ▼ ● Sestetto 2 No: 3 ▼

è stato selezionato un solo caso di carico con uno specifico sestetto, e tutti i punti maglia rappresentati in pianta.

In queste condizioni non sono disponibili tutte le uscite grafiche, perché alcune perdono di significato e non sono rappresentabili (ad esempio, per il software, non è possibile rappresentare l'involuppo dei momenti agenti lungo tutti i pali, dato che i pali potrebbero avere lunghezza differente).

All'interno della casella di selezione del caso di carico è riportata un'indicazione riguardante le verifiche: nel caso di un disco verde sono tutte superate, se il disco è rosso non lo sono ed è presente l'elenco dei sestetti di non verifica.

La finestra del disegno di dettaglio è vuota, perché non c'è alcun palo selezionato.

Tutti i Piani maglio (5), Caso 5, Sen. 2									
C.Plot	Coord. (m)	R.tiro (m)	Sp.Ori (m)	C.A.M. (m)	C.A.V. (m)	C.A.1ch. (m)	C.A.1cc. (m)	C.A.5m. (m)	C.A.5. (m)
Plot	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
PMI-52	PMI-52	PMI-52	PMI-52	PMI-52	PMI-52				
105141-103335	260149-267878	277272-248522	313731-247878	313731-247878	313731-247878	...	...	...	...
-1.04	-65.50	-8.75	-4.65	-4.65	-4.65				-7.83
61	60	80	80	80	80				113

C.Plot = Capaci plottrale; C.Coord. = Coordinato; R.tiro = Reintegro trasversale; Sp.Ori = Spontaneo orientamento;  
C.A.M = Capaci periferica; C.A.V = Capaci; C.A.1ch. = C.A.1cc. = C.A.5m. = C.A.5. = C.A.1ch. = C.A.1cc. = C.A.5m. = C.A.5.

La finestra delle verifiche in formato tabellare rappresenta una tabella riassuntiva dei coefficienti di sicurezza minimi ottenuti, per tutte le verifiche eseguite nel caso di carico e sestetto selezionati, con indicazione del corrispondente punto maglia.

### 2.4.2 Disegno in pianta

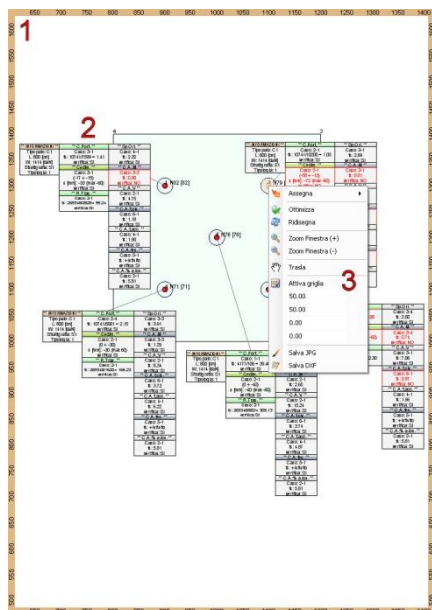
Il disegno in pianta riportato sulla finestra principale illustra la forma della fondazione, con gli eventuali punti di applicazione delle sollecitazioni, ed ovviamente le teste dei pali (punti maglia).

La fondazione ed i punti di applicazione delle azioni esterne su di essa possono non essere presenti, ma ovviamente sarà sempre presente almeno un punto maglia, altrimenti il software non potrebbe eseguire alcuna verifica.

Questo disegno, lateralmente **(1)**, riporta dei righelli che indicano le coordinate del sistema di riferimento globale, può essere utile farvi riferimento per controllare la geometria del modello.



Un singolo click col **tasto sinistro del mouse** per mettere di effettuare una **selezione**. In questo modo si può evidenziare un punto maglia, il contorno della fondazione oppure un punto di applicazione delle sollecitazioni su di essa.



La **rotella centrale de mouse** da accesso ai comandi di **navigazione** integrati (**zoom**, **pan**): ruotandola si modifica il valore di zoom, premendola e trascinandola si può far scorrere il disegno, con un doppio click si esegue uno zoom ottimizzato.

Ciascun punto maglia è collegato ad un'etichetta (**2**) che riporta diverse informazioni. La quantità di informazioni dipende dalle opzioni di disegno attivate dall'utente e dal caso di carico attualmente selezionato, ma nel caso più generale sono indicati i dati del palo ed i risultati globali delle verifiche strutturali e geotecniche.

Se nel menu contestuale (**3**) si sceglie il comando **attiva griglia**, è possibile spostare con il mouse la posizione dell'etichetta, che verrà memorizzata dal software.

Il **menu contestuale (3)** è accessibile premendo il **tasto destro del mouse**. Riporta i seguenti comandi:

- **Assegna:** disponibile soltanto se il mouse è sopra ad un punto maglia, permette di modificare “al volo” la tipologia di palo, la stratigrafia o le schede di calcolo.
- **Ottimizza:** esegue uno zoom ottimizzato del disegno.
- **Ridisegna:** ridisegna le informazioni su schermo.
- **Zoom finestra (+):** esegue uno zoom sull'area selezionata dall'utente.
- **Zoom finestra (-):** rappresenta l'intero disegno nell'area selezionata dall'utente.
- **Zoom finestra (-):** trasla il disegno
- **Attiva griglia (e caselle successive):** la griglia rappresenta una trappola (o “snap”) disponibile per tutti i comandi che reperiscono le coordinate dallo schermo. Le caselle sottostanti rappresentano le coordinate dell'origine della griglia ed il passo lungo i due assi principali. Attivando la griglia, si attivano anche i punti notevoli (rappresentati come quadratini di colore blu), che permettono di modificare direttamente alcune coordinate col mouse. I punti notevoli sono i punti maglia, le coordinate dei vertici della fondazione (forma libera), le coordinate dei punti di applicazione delle sollecitazioni sulla forma libera: questi punti possono essere selezionati e spostati direttamente premendo il tasto sinistro del mouse.
- **Salva JPG:** salva il disegno attualmente rappresentato in formato JPG.
- **Salva DXF:** salva il disegno attualmente rappresentato in formato DXF.

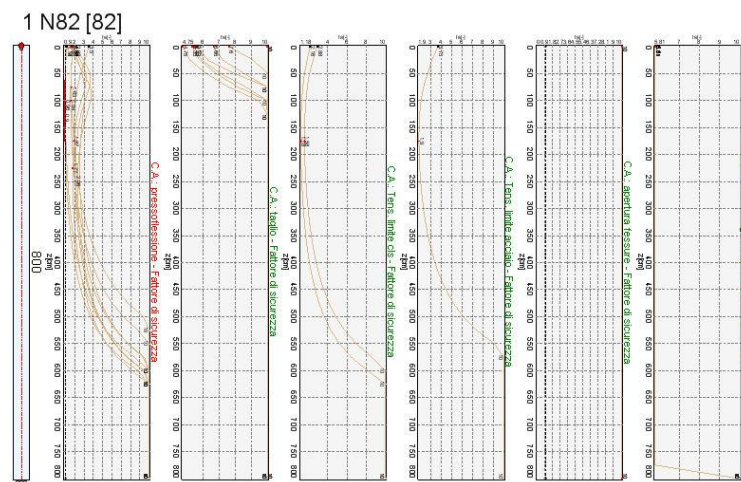
Sul bordo destro della vista in pianta è presente un “pomello” invisibile che permette di ridimensionarla per trascinamento del mouse.



### 2.4.3 Disegno di dettaglio

La finestra del disegno di dettaglio è dedicata all'analisi di un singolo palo. La selezione del palo da evidenziare può essere eseguita con un singolo click del mouse sulla finestra principale, oppure utilizzando la prima casella della barra di selezione nella parte alta della finestra principale.

Se non è stato selezionato alcun palo, questa finestra sarà vuota e non riporterà alcuna informazione.



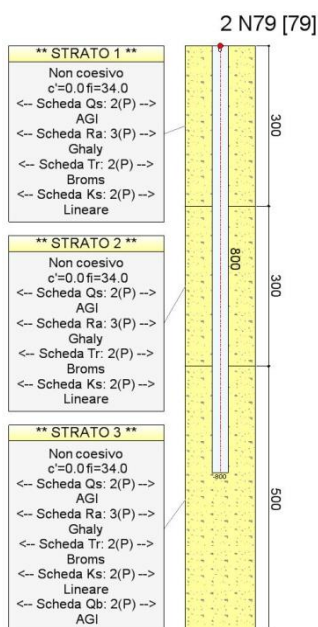
L'utente può scegliere liberamente quali informazioni rappresentare in questa finestra agendo sull'apposito controllo ad albero presente nel pannello laterale destro della finestra principale.

Si possono rappresentare le informazioni sul palo e sugli strati che compongono la stratigrafia, l'armatura del palo, le sollecitazioni agenti e le rispettive resistenze per ogni caso di carico e sestetto, i coefficienti di sicurezza, la curva di mobilitazione, l'influenza del cedimento

del palo su quelli circostanti.



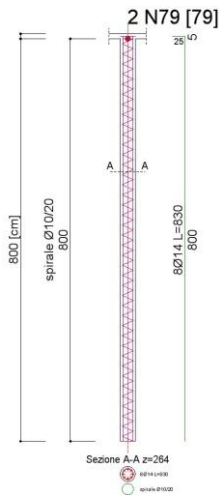
I tasti di scelta rapida presenti sul pannello laterale destro permettono di scegliere più facilmente le informazioni rappresentate.



Premendo il tasto (1), **Dati pali**, si ha il riassunto dei dati inseriti.

Viene rappresentato il punto maglia, con la tipologia di palo e la stratigrafia ad esso associati, con le rispettive quote.

Per ciascuno strato, è presente un'etichetta che riporta una descrizione riassuntiva della classificazione del terreno e dei parametri meccanici più importanti, oltre che i metodi di calcolo assegnati per determinare le resistenze e le rigidezze del modello di calcolo.



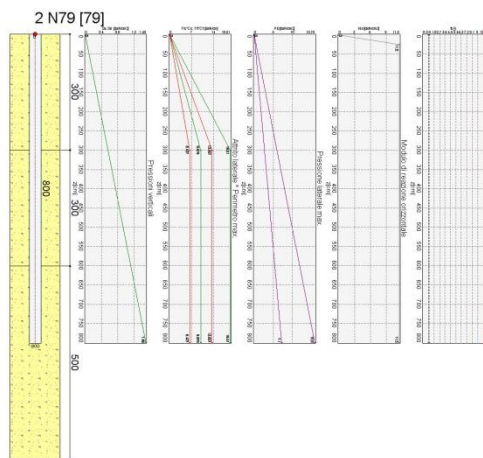
Premendo il tasto **(2), Armature**, si ha il disegno delle armature presenti nel palo, eventualmente con degli esplosi.

Questa rappresentazione grafica dipende dalla tipologia di palo, sarà ovviamente molto diversa nel caso di pali in c.a. dal caso di micropali con anima tubolare in acciaio.

Come per tutte le aree grafiche, è presente anche in questo caso un **menu contestuale**, accessibile premendo il **tasto destro del mouse**. Tra i vari comandi di questo menu, sono presenti **Salva JPG** (che salva il disegno attualmente rappresentato in formato JPG) e **Salva DXF** (che salva il disegno attualmente rappresentato in formato DXF).

Premendo il tasto **(3), Geotecnica**, si ha il disegno dei parametri geotecnici che influiscono sul modello di calcolo, disegnati in una serie di grafici che ne rappresentano il valore lungo il fusto del palo.

**Pressioni verticali:** rappresenta la pressione verticale totale (**Sv**), efficace (**Sv'**) e la pressione neutra (**Pn**) lungo il fusto del palo.



**Attrito laterale per perimetro max:** rappresenta il valore che si ottiene moltiplicando l'attrito laterale limite per il diametro del palo (attrito laterale unitario). Viene distinto il valore in compressione (**Flc x Cc**) da quello in trazione (**Flt x Ct**). Questo valore dà un'idea di quale contributo alla portata laterale sia disponibile ad una certa quota lungo il fusto del palo.

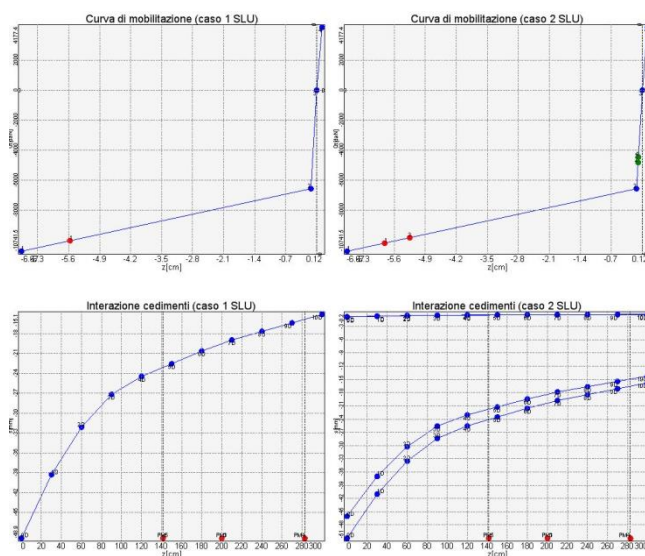
**Pressione laterale max:** rappresenta il valore della pressione orizzontale laterale limite (**Plc**). Questo valore dà un'idea di quale contributo alla resistenza laterale sia disponibile ad una certa quota lungo il fusto del palo.

**Modulo di reazione orizzontale:** variazione del modulo di reazione orizzontale (**Kso**) lungo il fusto del palo.

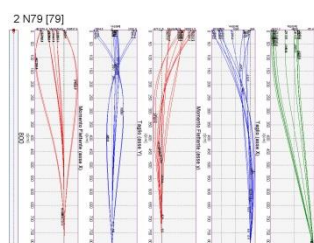
**Liquefazione – fattore di sicurezza:** fattore di sicurezza (**fs**) dell'eventuale verifica a liquefazione. Se questo valore è minore di **1.0**, si verifica la liquefazione ad una certa quota.

Premendo il tasto **(4)**, **Mobilizzazione**, si ha il disegno della curva di mobilitazione e dell'influenza dei cedimenti di un palo su quelli adiacenti.

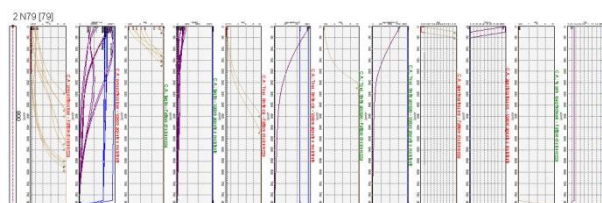
**Curva di mobilitazione:** rappresenta la curva di mobilitazione verticale del palo, totale (somma dei contributi della portata laterale e portata di base). Sulle ascisse sono riportati i cedimenti ( $s$ ) corrispondenti al carico verticale totale ( $Q_t$ ) rappresentato sulle ordinate. I punti **blu** lungo il grafico rappresentano gli estremi dei segmenti di cui è composto. I punti **verdi** o **rossi** rappresentano la sollecitazione applicata al palo nel caso di carico selezionato ed il corrispondente cedimento, che può essere verificato (colore verde) oppure non verificato (colore rosso). La curva di mobilitazione, è calcolata nell'ipotesi di palo isolato.



**Interazione cedimenti:** rappresenta l'influenza del cedimento di un palo sui pali adiacenti, in funzione della loro distanza. Sulle ascisse è rappresentata la distanza ( $d$ ) dal palo in esame, sulle ordinate il cedimento aggiuntivo corrispondente ( $s$ ). La curva del cedimento aggiuntivo, è calcolata in funzione del cedimento del palo analizzato considerato isolato, moltiplicato per i coefficienti di interazione. I pallini **blu** scandiscono la distanza in intervalli pari al diametro del palo, quelli **rossi** evidenziano la posizione dei punti maglia più vicini presenti in pianta.



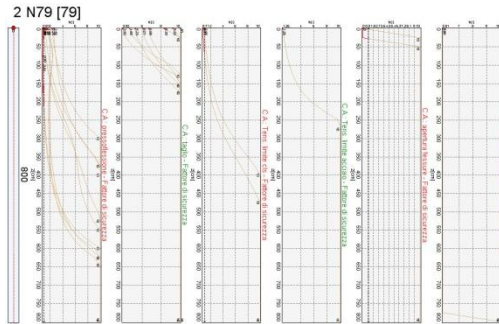
Premendo il tasto **(5)**, **Sollecitazioni**, si ha l'andamento delle caratteristiche di sollecitazione lungo il fusto del palo.



Premendo il tasto **(6)**, **Verifiche**, si ha la rappresentazione delle verifiche meccaniche eseguite lungo il fusto del palo.

Ciascuna verifica è rappresentata da due

diagrammi: il primo riporta il valore di progetto della sollecitazione (Sd) confrontato col valore di progetto della resistenza (Rd), il secondo il coefficiente di sicurezza espresso come rapporto tra Rd e Sd. Una verifica è superata se il fattore di sicurezza è maggiore o uguale a **1.0**.



Il tasto (7) è del tutto equivalente al tasto (6), ma rappresenta, per ciascuna verifica, soltanto il grafico del fattore di sicurezza, per una visualizzazione più compatta ed un controllo più rapido dei risultati.

## 2.4.4 Tabella di riassunto verifiche

La finestra contenente la tabelle di riassunto verifiche, rappresenta un formato riassunto di tutti i controlli che l'utente deve effettuare per controllare il progetto.

Tutti i Punti maglia (5), Tutti i casi (6), Tutti i sestetti (12)									
Caso	C.Port. [daN]/[f.s.]	Cedim. [mm]	R.Tras. [daN]/[f.s.]	Sp.Ori. [mm]	C.A.M. [daN*cm]/[f.s.]	C.A.V. [daN/cm²]	C.A.t.cls. [daN/cm²]	C.A.t.acc. [daN/cm²]	C.A.fes. [mm]
1: SLU SENZA SISMA	PM2-S1 10741/10043 = 1.07	PM2-S1 -67 (max - 60)	PM1-S1 269348/2367 = 113.78	PM1-S1 18 (max 60)	PM2-S1 476464/408599 = 1.17	PM1-S1 13373/2367 = 5.65	---	---	---
2: SLU con SISMAX	PM2-S1 10741/10200 = 1.05	PM2-S1 -72 (max - 60)	PM1-S1 269348/2828 = 95.24	PM1-S1 17 (max 60)	PM2-S1 376620/456464 = 0.83	PM1-S1 13421/2828 = 4.75	---	---	PM1-S1 1.7/0.3 = 5.81
3: SLU con SISMAY	PM3-S4 10741/10764 = 1.00	PM3-S4 Indefinito (max - 60)	PM2-S4 269348/3413 = 78.92	PM3-S4 24 (max 60)	PM3-S4 380018/514742 = 0.74	PM2-S4 13373/3413 = 3.92	---	---	PM1-S1 1.7/0.3 = 5.81
4: Rara	---	PM2-S1 -1 (max - 30)	---	PM1-S1 13 (max 30)	---	PM2-S1 150/158.1 = 0.95	PM2-S1 3600/2865.9 = 1.26	---	---
5: Frequente	---	---	---	---	---	---	---	PM2-S1 0.4/100 = 0.00	---
6: Quasi Perm	---	PM2-S1 -1 (max - 40)	PM1-S1 13 (max 40)	---	---	PM2-S1 112.5/158.2 = 0.71	---	PM2-S1 0.3/100 = 0.00	---

C.Port. = Capacità portante | Cedim. = Cedimento | R.Tras. = Resistenza trasversale | Sp.Ori. = Spostamento orizzontale | C.A.M. = C.A.: pressoflessione | C.A.V. = C.A.: taglio | C.A.t.cls. = C.A.: Tens. limite cls | C.A.t.acc. = C.A.: Tens. limite acciaio | C.A.fes. = C.A.: apertura fessure | C.A.% a lon. = C.A.: % arm. longitudinale | --- = Verifica non prevista

La tabella riassuntiva dei coefficienti di sicurezza ottenuti, è organizzata per righe e colonne:

- Ciascuna riga è dedicata ad un caso di carico.
- Ciascuna colonna è dedicata ad una verifica.

Le celle, incrocio di una riga ed una colonna, rappresentano il coefficiente di sicurezza per una verifica in un certo caso di carico. Se al posto del testo sono presenti dei **trattini**, questo sta ad indicare che il caso di carico analizzato non è adatto all'esecuzione della relativa verifica (ad esempio, alcune verifiche tensionali vanno eseguite per le combinazioni di carico a SLE ma non per le combinazioni a SLU).

I trattini possono perciò essere trascurati, le celle contenenti del testo vanno invece controllate con attenzione. Se il testo ha colore **rosso**, la verifica non è superata, viceversa se ha colore **verde**.

Il contenuto delle celle varia secondo la **barra di selezione** della finestra principale. Questa barra indica al programma se rappresentare la situazione di un certo punto maglia, in uno specifico caso e sestetto di carico o per tutti i casi di carico, oppure se ricercare tra tutti i punti maglia la situazione più severa riguardo alle verifiche eseguite.