

IS Pali

Versione 09

Manuale Utente

CDM Dolmen e omnia IS srl

Via Drovetti 9F, 10138 Torino

Tel./fax: 011 4470755

www.omniais.it, info@omniais.it

Indice

1	RICHIAMI TEORICI	3
1.1	CARICO LIMITE DI UN PALO	3
1.1.1	<i>Portata limite di base</i>	3
1.1.1.1	Terreni non coesivi.....	3
1.1.1.1.1	Pali infissi.....	4
1.1.1.1.1.1	Dimensionamento in base a modelli teorici	4
1.1.1.1.1.1.1	Pali con base al di sotto della profondità critica	4
1.1.1.1.1.1.2	Pali con base al di sopra della profondità critica	4
1.1.1.1.1.2	Dimensionamento in base a prove penetrometriche	5
1.1.1.1.2	Pali trivellati.....	8
1.1.1.2	Terreni coesivi.....	9
1.1.1.3	Roccia.....	9
1.1.2	<i>Portata limite per attrito laterale</i>	10
1.1.2.1	Terreni non coesivi.....	10
1.1.2.1.1	Pali infissi.....	10
1.1.2.1.1.1	Dimensionamento in base a modelli teorici	10
1.1.2.1.1.2	Dimensionamento in base a prove penetrometriche	10
1.1.2.1.2	Pali trivellati.....	11
1.1.2.1.2.1	Dimensionamento in base a modelli teorici	11
1.1.2.1.2.2	Dimensionamento in base a prove penetrometriche	11
1.1.2.1.3	Micropali.....	12
1.1.2.1.3.1	Metodo di Bustamante e Doix	12
1.1.2.2	Terreni coesivi.....	12
1.1.2.2.1	Pali infissi.....	12
1.1.2.2.1.1	Metodo α (in termini di tensioni totali)	12
1.1.2.2.1.2	Metodo β (in termini di tensioni efficaci).....	13
1.1.2.2.2	Pali trivellati.....	13
1.1.2.2.2.1	Metodo α (in termini di tensioni totali)	13
1.1.2.2.2.2	Metodo β (in termini di tensioni efficaci).....	13
1.1.2.2.3	Micropali.....	14
1.1.2.2.3.1	Metodo di Bustamante e Doix	14
1.1.2.3	Roccia.....	15
1.2	CEDIMENTI CORRISPONDENTI AL CARICO LIMITE	16
1.2.1	<i>Cedimenti corrispondenti alla portata limite di base</i>	16
1.2.1.1	Terreni non coesivi.....	16
1.2.1.1.1	Pali infissi.....	16
1.2.1.1.2	Pali trivellati.....	16
1.2.1.2	Terreni coesivi.....	17
1.2.2	<i>Cedimenti corrispondenti alla portata limite per attrito laterale</i>	17
1.3	RESISTENZA LIMITE LATERALE DI UN PALO	17
1.3.1.1	Terreni non coesivi.....	18
1.3.1.2	Terreni coesivi.....	18
1.4	COMPORAMENTO DEI PALI IN GRUPPO	18
1.4.1.1	Terreni non coesivi.....	19
1.4.1.2	Terreni coesivi.....	19
1.5	INSTABILITÀ (CARICO DI PUNTA).....	20
2	UTILIZZO DEL PROGRAMMA	21

2.1	PANORAMICA DEI COMANDI DISPONIBILI	21
2.2	CONVENZIONI, SIMBOLI ED UNITÀ DI MISURA.....	24
2.3	ESEMPI DI UTILIZZO	25
2.3.1	<i>Inserimento dati</i>	25
2.3.1.1	Inserimento dei dati riguardanti il palo.	25
2.3.1.2	Inserimento dei dati del terreno.	26
2.3.2	<i>Progetto</i>	29
2.3.2.1	Scelta del metodo di calcolo.	29
2.3.2.2	Scelta della lunghezza di infissione minima del palo.	30
2.3.3	<i>Verifica</i>	30
2.3.3.1	Calcolo non lineare.	30
2.3.3.2	Verifiche sezionali.	31
2.3.4	<i>Curva di mobilitazione</i>	31

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.
 - 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

σ'_{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:

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

σ'_{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 σ'_{cr} ed il valore di φ' 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 φ' 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:

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

σ'_{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:

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

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 immerso 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

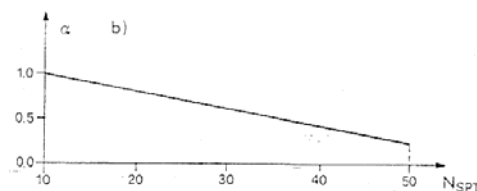
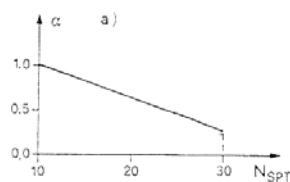
$R = 0.3$ per sabbie fini e/o limose

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 α definito dai grafici di *Weltman e Healy*:

FATTORE DI RIDUZIONE α

a) Per ghiaie impermeabili

b) Per ghiaie permeabili



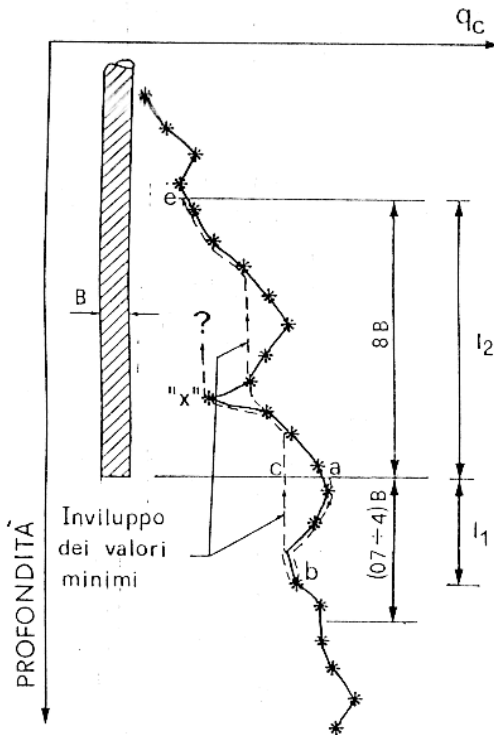
Rif.: Erio PASQUALINI, “Pali di fondazione nei terreni non coesivi”, pagg. 38 – 39.

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 γ 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 γ variabili fra $(0.7-4) B$ ed e 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:

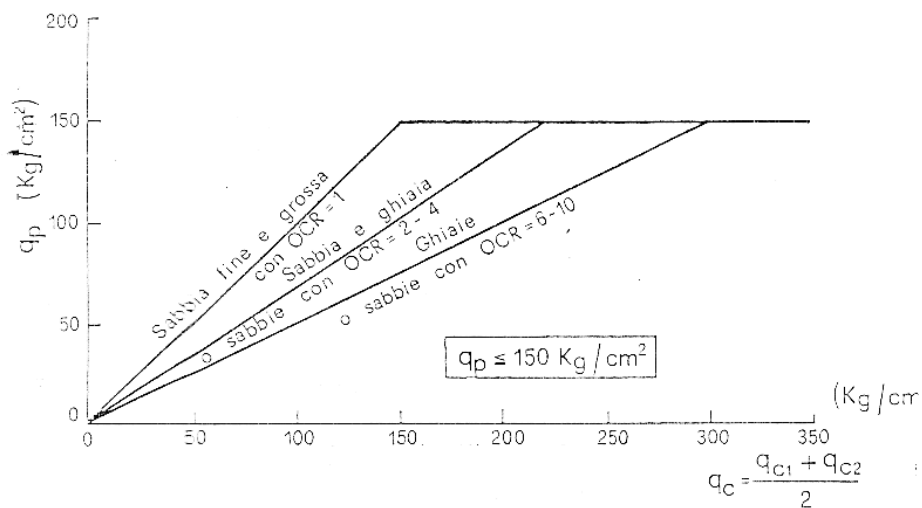
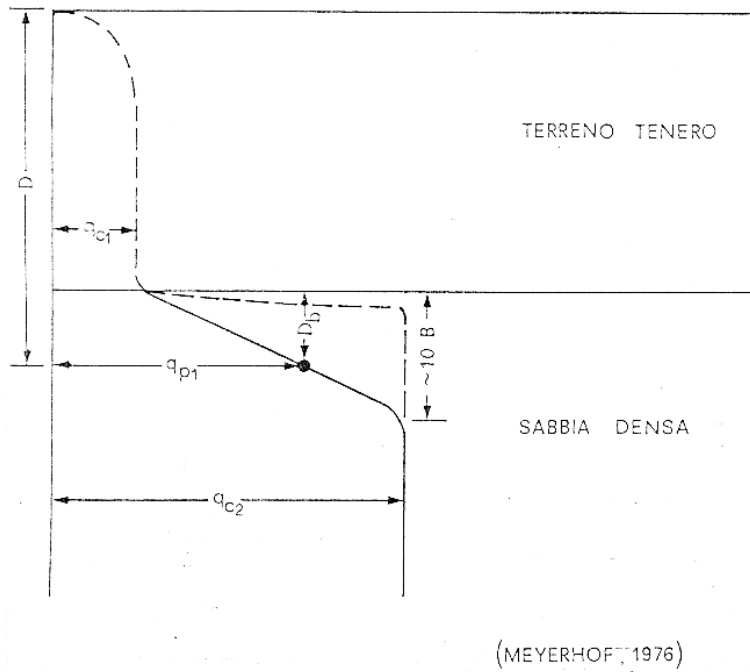


FIG. 27 : VALORI DI q_p IN FUNZIONE DI q_c E DEL TIPO DI TERRENO

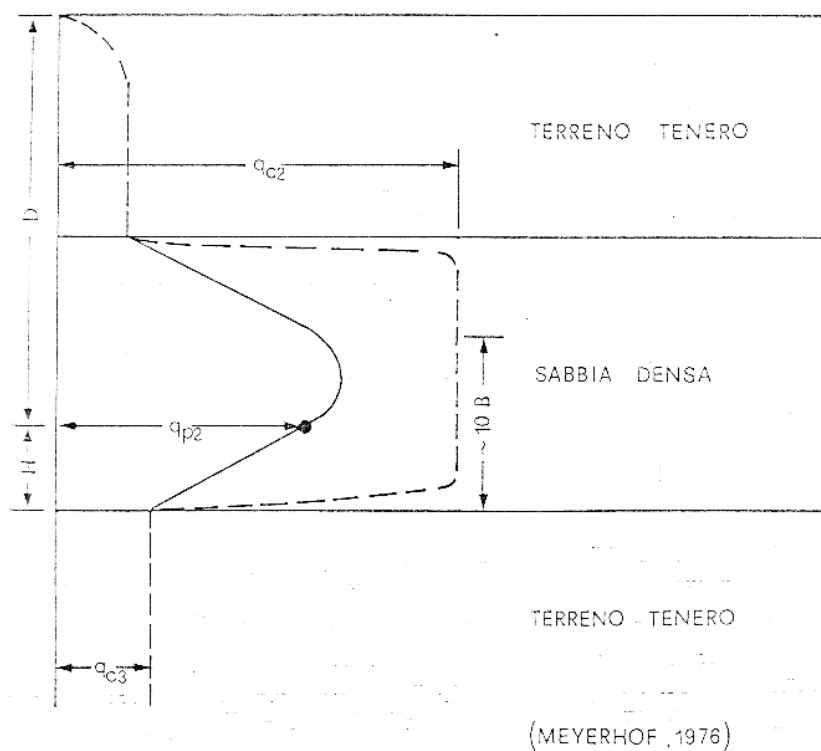
(TE KAMP, 1977)

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:

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



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



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

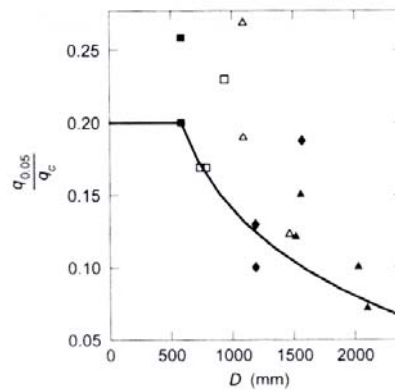
Nome del metodo di calcolo: “Prova CPT”.

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 LANCELOTTA, “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):

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

Rif.: Renato LANCELOTTA, “Fondazioni”, pag. 365.

Nome del metodo di calcolo: “Reese e O’Neill”.

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

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

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

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

φ'	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

σ_{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 LANCELOTTA, “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
Calcarea	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".

1.1.2 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

δ = angolo di attrito palo - terreno

σ'_{v0} = tensione verticale efficace iniziale

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

Nome del metodo di calcolo: "Generale".

Secondo *Kulhavy* (1983) il valore di δ coincide con quello di φ' (angolo di resistenza al taglio) per un palo in calcestruzzo e varia da 0.5 a 0.9 φ' 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 σ'_{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".

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

δ = angolo di attrito palo - terreno

σ'_{v0} = tensione verticale efficace iniziale

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

Nome del metodo di calcolo: "Generale".

Secondo *Kulhavy* (1983) il valore di δ coincide con quello di ϕ' (angolo di resistenza al taglio) per un palo in calcestruzzo e varia da 0.5 a 0.9 ϕ' 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 σ'_{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".

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 (fino a 25 cm) realizzati mediante perforazione del terreno, installazione di un'armatura e getto di microcalcestruzzo in pressione. 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.

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 α (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

α = coefficiente empirico

Secondo *Olson e Dennis* (1982) il valore di α 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 β (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

σ'_h = tensione orizzontale efficace (alla rottura)

σ'_{v0} = tensione verticale efficace iniziale

δ = 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 β avente valori usualmente oscillanti nell'intervallo 0.24 – 0.29 (per φ' 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 LANCELOTTA, "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 α (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

α = 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 α assume valori variabili fra 0.3 e 0.6 con valore medio 0.45.

Secondo Stas e Kulhavy (1984) il valore di α assume l'espressione:

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

p_a = pressione atmosferica

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

Nome del metodo di calcolo: "Metodo alfa".

1.1.2.2.2.2 Metodo β (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

σ'_h = tensione orizzontale efficace (alla rottura)

σ'_{v0} = tensione verticale efficace iniziale

δ = 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 (fino a 25 cm) realizzati mediante perforazione del terreno, installazione di un'armatura e getto di microcalcestruzzo in pressione. 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.

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:

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

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

dove d_{perf} è il diametro di perforazione.

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

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

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

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:

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

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

dove p_{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_{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 LANCELLOTTA, "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
Calcere	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”.

1.2 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.

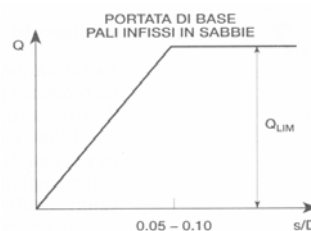
Rif.: Erio PASQUALINI, "Pali di fondazione nei terreni non coesivi", pagg. 11, 20 – 21, 37.

1.2.1.1 Terreni non coesivi

Per terreni non coesivi si possono utilizzare i seguenti diagrammi.

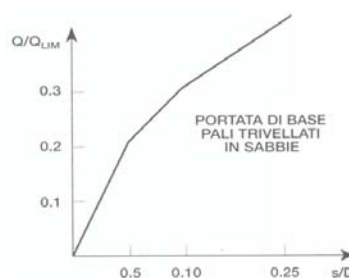
1.2.1.1.1 Pali infissi

Coyle e Reese (1966) suggeriscono il seguente diagramma:

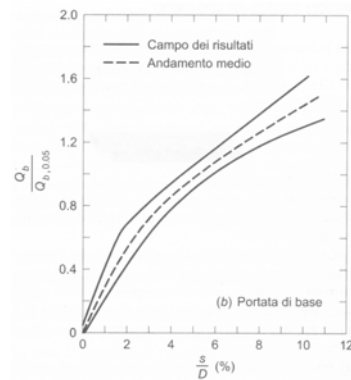


1.2.1.1.2 Pali trivellati

Coyle e Reese (1966) suggeriscono il seguente diagramma:

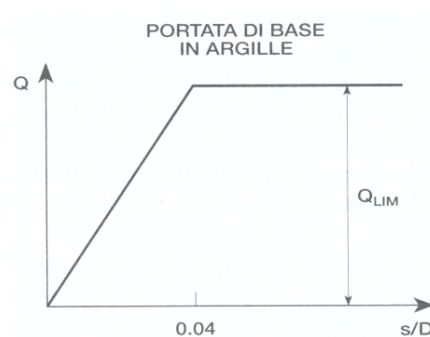


Reese e O'Neill (1989) suggeriscono il seguente diagramma:



1.2.1.2 Terreni coesivi

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

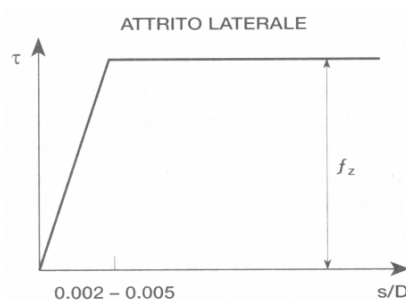


1.2.2 Cedimenti corrispondenti alla portata limite per attrito laterale

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 φ 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”.

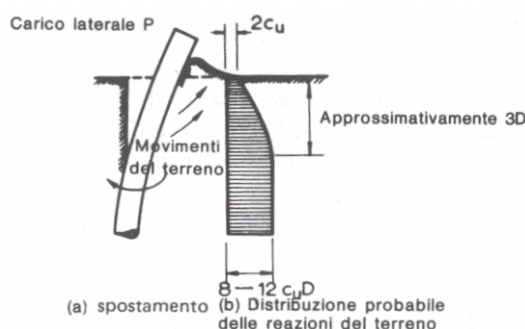
Nel caso di terreno non coesivo, Broms (1964) propone una distribuzione di resistenza ultima pari a tre volte la pressione di resistenza passiva valutata secondo la teoria di Rankine.

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 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 LANCELOTTO, “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.

1.4.1.1 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 LANCELOTTA, "Geotecnica", pag. 490.

Nome del metodo di calcolo: "Meyerhof".

1.4.1.2 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):

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

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

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 LANCELOTTA, "Geotecnica", pagg. 489 – 490.

Nome del metodo di calcolo: "Whitaker".

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:

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

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.

Nome del metodo di calcolo: “Terzaghi e Peck”.

1.5 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

β = 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:

$$\frac{P}{cr} \geq N$$

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

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

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

Nome del metodo di calcolo: “Mascardi”.

2 Utilizzo del programma

2.1 Panoramica dei comandi disponibili

I dati sono passati al programma attraverso il **menu principale** 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 vedrà rappresentato il palo ed i risultati del calcolo.

La finestra principale presenta nella propria estremità superiore una serie di **linguette** che permettono di selezionare la modalità operativa del programma.

Modalità operative del programma, **linguette** della finestra principale.

- **Dati.**
In questa modalità il programma permette di modificare tutti i dati che definiscono il problema affrontato, utilizzando il **menu principale** o (preferibilmente) il **pannello laterale**. Nella **finestra principale** è rappresentato graficamente l'input utente, oltre ad un riassunto della portata limite ed ammissibile (costantemente aggiornato).
- **Riepilogo.**
In questo caso il programma genera e visualizza una relazione che riassume i dati inseriti, offrendo la possibilità di un rapido ed efficace controllo numerico.
- **Portate.**
In questa modalità il programma genera e visualizza la relazione di calcolo estesa, con dettaglio di tutti i metodi utilizzati per il calcolo delle portate.
- **Modello.**
Questa opzione rappresenta l'anticamera del calcolo non lineare. I diagrammi rappresentati nella **finestra principale** rappresentano tutte le grandezze fisiche il cui valore influisce nella definizione del modello ad elementi finiti.
- **Calcolo.**
In questo caso si ha accesso al calcolo non lineare. I dati forniti dall'utente permettono di definire un modello numerico che permette di calcolare le sollecitazioni e gli spostamenti corrispondenti alle combinazioni di carico assegnate.
- **Mobilitazione.**
Questa modalità operativa permette di calcolare le curve di mobilitazione del palo, cioè grafici che collegano gli spostamenti in testa al palo alla resistenza mobilitata nel terreno.
- **Risultati.**
Si tratta del riepilogo di tutti i risultati del calcolo attualmente disponibili al programma.

Riquadri del **pannello laterale**.

- **Palo.**
Contiene le caratteristiche del palo, come altezza, modalità esecutiva (trivellato, infisso, micropalo) e condizioni di vincolo in testa.
Scelta la sezione del palo, i diametri equivalenti della punta (D_b , portata di base) e del fusto (D_s , portata laterale) sono calcolati automaticamente dal programma, ma l'utente può imporre dei valori arbitrari agendo sugli appositi controlli.
- **Strati.**
Contiene una visualizzazione tabulare delle caratteristiche degli strati che formano la stratigrafia in cui è infisso il palo.

Oltre alle caratteristiche meccaniche fondamentali dello strato (coesione, angolo di attrito, peso di volume, ecc.) sono visualizzati anche i metodi di calcolo dei valori derivati necessari al calcolo (correlazioni per il calcolo della portata limite, coefficienti di spinta, ecc.).

Nel primo caso (caratteristiche degli strati) i valori possono essere inseriti direttamente nelle griglie della tabella, nel secondo (metodi di calcolo) è necessario premere il tasto visualizzato a destra della casella per accedere ad un menu di scelta. In questo caso si accede ad un pannello contenente molti diversi metodi di valutazione di una grandezza necessaria all'analisi della struttura. Ognuno dei pannelli di scelta è suddiviso in diverse pagine, ciascuna dedicata ad un diverso metodo di calcolo e contraddistinta da uno dei tre colori rosso, verde o giallo. L'utente è libero di scegliere il metodo di calcolo più appropriato secondo le proprie esigenze, il programma si limita a segnalare, secondo la natura del problema analizzato (tipologia del terreno e del palo), se un metodo è sconsigliato (colore rosso), applicabile con una certa attenzione (colore giallo) o utilizzabile senza particolari accorgimenti (colore verde). Ogni metodo si basa sulle caratteristiche meccaniche del terreno o sui risultati di una prova penetrometrica, ma spesso necessita di ulteriori particolari parametri. Se un metodo non ha ricevuto sufficienti parametri, darà come risultato un valore nullo. Una volta effettuata ed accettata la scelta, questa si ripercuote immediatamente sui calcoli successivi.

In questo riquadro è anche possibile attivare o disattivare la falda, ed imporre la quota, e si possono pure definire i risultati delle eventuali prove penetrometriche effettuate utilizzabili nelle correlazioni automaticamente gestite dal programma.

- Carichi e calcolo.
Permette di definire i casi di carico che saranno risolti ed involuppati dal programma. Ogni caso di carico è formato da una tripletta di sollecitazioni applicate in testa al palo. Le sollecitazioni imposte vengono rappresentate sulla finestra principale del programma, per analizzare singolarmente le singole condizioni di carico è sufficiente scorrere la casella combinata di scelta.
E' possibile importare direttamente le sollecitazioni da Dolmen®.
- Grafica.
Permette di scegliere quali informazioni visualizzare nella finestra principale.

Nella **finestra principale** vengono rappresentate molte informazioni sotto forma di disegni o diagrammi, eventualmente suddivisi per "fasce" o "livelli" orizzontali.

In modalità "Dati" sono raffigurate le caratteristiche del palo analizzato affiancato da una rappresentazione del calcolo dell'equilibrio limite secondo le impostazioni ed i dati correnti (Q_b = portata limite di base, Q_s = portata limite totale laterale, W = peso proprio del palo, Q_t = portata limite totale). Cambiando una qualunque caratteristica del terreno o del palo, o scegliendo un diverso metodo di calcolo della portata, questo disegno è immediatamente aggiornato in modo che l'utente abbia sempre una rappresentazione aggiornata dell'equilibrio limite.

In modalità "Modello" sono visibili due "fasce" di diagrammi, e precisamente:

- Tensioni verticali.
Diagrammi rappresentanti l'andamento delle tensioni verticali del terreno lungo il palo. Come per tutti i diagrammi è possibile, premendo il tasto destro del mouse, accedere ad una finestra di dialogo che ne permette una visualizzazione più dettagliata ed interattiva, oltre alla stampa ed al trasferimento ad altri programmi tramite trasferimento negli appunti o salvataggio su file grafico.
- Valori modello
Diagrammi delle varie grandezze fisiche che concorrono alla soluzione del problema, derivati dai parametri impostati dall'utente.

Questi diagrammi rappresentano, lungo il fusto del palo, l'andamento della resistenza limite laterale, del modulo di reazione del terreno, della capacità portante (portata limite di base) e dell'attrito limite palo – terreno (portata limite laterale).

I valori di questi diagrammi permettono all'utente di controllare in ogni momento i valori utilizzati dal programma per il calcolo.

In modalità “Calcolo” sono visibili diverse “fasce” di diagrammi, secondo le impostazioni del riquadro **grafica** del **pannello laterale**:

- **Schema FEM.**
Rappresenta il modello FEM utilizzato per la risoluzione del problema. Il programma offre la possibilità di analizzare in tempo reale la schematizzazione del comportamento non lineare del terreno e di seguire l'evoluzione degli spostamenti e sollecitazioni della struttura.
- **Sollecitazioni.**
Risultati del calcolo non lineare. Si possono analizzare i risultati un caso di carico alla volta, selezionando il caso di interesse dal riquadro apposito nel pannello laterale, oppure visualizzare l'involuppo di tutti i casi definiti.
- **Verifiche.**
Verifiche sezionali, eseguite automaticamente dal programma sulla sezione definita dall'utente con le sollecitazioni derivanti dai casi di carico analizzati durante il calcolo.

Tutti i diagrammi rappresentati nella finestra principale sono interrogabili col “doppio click” del mouse, ed è possibile premere il tasto destro per rappresentare i diagrammi in un pannello specializzato che ne permette una migliore analisi e la stampa.

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.
- **Visualizza.**
Impostazioni di visualizzazione.
- **Calcolo.**
Permette di utilizzare diversi strumenti di calcolo, aventi finalità diverse.
 - **Confronta portate.**
Questo strumento è di tipo progettuale, ovvero consente al progettista di confrontare i diversi metodi di calcolo delle portate suggeriti dalla letteratura specifica e utilizzati dal programma. E' possibile scegliere se visualizzare solo i metodi “maggiormente indicati” data la natura del problema (colore verde, secondo le caratteristiche del terreno e del palo), oppure se visualizzare tutti i metodi a prescindere dalla loro maggiore o minore applicabilità (tutti i colori, verde, giallo, rosso).
Il pannello dedicato alla portata limite di base (Q_b) confronta il valore totale della portata di base, per il palo definito, calcolato secondo tutti i metodi disponibili. Affinché un metodo possa dare un risultato non nullo, è necessario avere preventivamente impostato tutti i parametri che lo contraddistinguono.
Il pannello dedicato alla portata limite laterale (Q_s) permette di scegliere uno strato di interesse, dopodiché calcola il valore totale della portata laterale (per il palo definito) al variare del metodo utilizzato per il solo strato di interesse. Ciò permette di confrontare velocemente il risultato dei metodi di calcolo e valutare quanto un errore su un singolo strato possa ripercuotersi sull'equilibrio globale.
 - **Lunghezza per portate.**

Anche questo strumento ha scopi di tipo progettuale: consente infatti di individuare la lunghezza del palo necessaria ad ottenere una portata limite prefissata. Il calcolo utilizza la stratigrafia già definita, descritta dalle caratteristiche del terreno e dai metodi di calcolo scelti dall'utente, e traccia un grafico dell'andamento delle portate limite (base, laterale, totale) al variare della sola lunghezza del palo. In tal modo è anche possibile rendersi conto di quali vantaggi porti un eventuale incremento di lunghezza.

- Portata ammissibile.
Permette di scegliere il metodo utilizzato dal programma per calcolare la portata ammissibile a partire dalla portata limite.
- Fattore di efficienza.
Permette di scegliere il metodo utilizzato dal programma per calcolare il fattore di efficienza che tiene conto del comportamento dei pali in gruppo.
- Carico critico.
Permette di scegliere il metodo utilizzato dal programma per calcolare il valore del carico critico (verifica di instabilità del palo).
- Risolvi combinazioni.
Analisi non lineare dei casi di carico definiti, del tutto equivalente al comando situato sul pannello laterale nel riquadro dedicato al calcolo.
- Curve spostamento in testa – risposta.
Calcola le curve di mobilitazione (risposta mobilitata per cedimento imposto) del palo. Fra queste, la più interessante è “Cedimento verticale – Portata mobilitata”. Il programma esegue una serie di analisi non lineari del problema definito, tracciando la curva di mobilitazione del palo che mette in correlazione la portata limite con lo spostamento necessario alla sua mobilitazione. Vengono rappresentati separatamente i contributi di base e laterali, in modo da distinguere i diversi livelli di spostamento che ne causano la completa mobilitazione.
- Impostazioni.
Impostazioni varie, essenzialmente di tipo grafico e generalmente auto esplicative.
- ?.
Informazioni sul prodotto e guida in linea.
La guida in linea è richiamabile automaticamente con la pressione del tasto F1 durante l'esecuzione del programma.

2.2 Convenzioni, simboli ed unità di misura

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

In molti casi (ad esempio in tutte le caselle di testo con caratteri blu) è possibile accedere ad un utilissimo pannello di conversione automatica fra valori espressi in unità di misura differenti.

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

- Generiche
 - **z**: quota, orientata verso l'alto.
 - γ_d, γ_t : pesi di volume del terreno, secco e saturo.
- Tensioni
 - σ_v : tensione verticale totale.
 - σ'_v : tensione verticale efficace.
 - **u**: pressione neutra.
- Valori del modello
 - **k₀**: coefficiente di spinta a riposo.
 - **k_a**: coefficiente di spinta attiva.

- k_p : coefficiente di spinta passiva.
- k_s : modulo di reazione del terreno.
- q_{lim} : capacità portante limite (portata di base).
- f_z : attrito laterale limite (portata laterale).
- Portate
 - W : peso totale del palo.
 - Q_b : portata limite di base.
 - Q_s : portata limite per attrito laterale.
 - Q_t : portata limite totale ($Q_b + Q_s - W$).

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

2.3 Esempi di utilizzo

I seguenti esempi di utilizzo riguardano il problema del progetto e verifica di un palo, e prevedono che l'utente li segua nell'ordine in cui sono presentati.

2.3.1 Inserimento dati

Questa parte riguarda la definizione del problema di progetto o verifica.

Mentre si modificano i dati è utile vedere l'effetto che questi provocano sulle grandezze in gioco, perciò si dovrebbe attivare la visualizzazione delle tensioni verticali nel terreno e dei valori delle variabili fondamentali che governano il problema.

Nel lato superiore della finestra principale di IS Pali premere la linguetta **Modello**.

Effettuare gli zoom necessari per analizzare i diagrammi, premendo il tasto destro de mouse sulla finestra principale di IS Pali e scegliendo **Zoom In**.

Ottimizzare la rappresentazione grafica a video premendo il tasto destro de mouse sulla finestra principale di IS Pali e scegliendo **Ottimizza**.

Tornare in modalità di inserimento dati premendo la linguetta **Dati** nel lato superiore della finestra principale.

Tutti i diagrammi rappresentati in modalità "Modello" sono interrogabili con una doppia pressione del tasto sinistro del mouse ("doppio click").

Una caratteristica importante di questi diagrammi è che vengono sempre automaticamente aggiornati ogni volta che si cambia un parametro del calcolo, in modo da poter immediatamente valutare le conseguenze di una scelta.

2.3.1.1 Inserimento dei dati riguardanti il palo.

Definire la sezione trasversale del palo è semplice, per questo scopo è presente un'apposita finestra a cui si accede dal menu principale o premendo il tasto F7.

Nel menu principale di IS Pali scegliere **Impostazioni** → **Sezione**.

Per accedere alla finestra che permette di definire una nuova sezione premere il tasto **Crea**.

Creare una nuova sezione scegliendo **Sezione** → **Nuova** → **Standard**.

Scegliere la sezione circolare piena imponendo un diametro di 40 cm e premere **OK**.

Eliminare i ferri attualmente presenti, scegliendo **Ferri** → **Reset**.

Inserire i nuovi ferri della sezione come desiderato, utilizzando la funzione **Ferri** → **Inserisci polari**.

In questo modo si è definita una nuova sezione, che si affianca alla precedente. Occorre prestare attenzione al materiale che la compone, ed è possibile assegnarle un nome per futuro riconoscimento. A questo punto è possibile tornare al menu principale semplicemente chiudendo la finestra dedicata alla definizione della sezione.

Nel riquadro **Palo** del pannello principale scegliere la sezione desiderata dall'elenco **Sezione**.

Notare come i valori delle caselle **Db** e **Ds** cambino automaticamente non appena si sceglie una nuova sezione.

Notare come il grafico che rappresenta l'equilibrio limite del palo venga automaticamente aggiornato non appena si sceglie la nuova sezione.

D_b e D_s rappresentano il diametro equivalente per il calcolo della portata di base e per la portata laterale. Il programma li calcola automaticamente sulla base dell'area della sezione definita, ma è possibile definire dei valori arbitrari (utile in caso di sezioni "particolari").

Nel riquadro **Palo** del pannello laterale spuntare la casella **Db**.

Nella casella a fianco inserire il valore desiderato per il diametro equivalente di base e premere **Invio**.

Notare come il grafico che rappresenta l'equilibrio limite del palo venga automaticamente aggiornato non appena si impone il nuovo valore.

Il programma memorizza separatamente il valore desunto dalla sezione ed il valore arbitrario per entrambi i diametri equivalenti, perciò è possibile passare da uno all'altro in un attimo.

Nello stesso pannello è possibile definire la tipologia costruttiva del palo ed il vincolo in testa.

Nel riquadro **Palo** del pannello laterale selezionare l'opzione **Trivellato**.

Selezionare l'opzione **Libera**.

La tipologia costruttiva ha effetto sulle correlazioni utilizzate per il calcolo della portata in due modi:

- le correlazioni non adatte al tipo di palo in questione vengono caratterizzate da un colore rosso (le rimanenti in giallo o in verde)
- le correlazioni adatte per diverse tipologie di palo, quando necessario, vengono automaticamente utilizzate nella forma adatta per il tipo di palo analizzato

La rotazione in testa al palo, se libera, permette di applicare un momento agente, altrimenti si potranno applicare le due forze normale e trasversale e leggere il momento reagente.

2.3.1.2 Inserimento dei dati del terreno.

L'attivazione – disattivazione della falda ha conseguenze immediate sul calcolo delle portate.

Nel pannello laterale di **IS Pali** premere **Quota falda** nel riquadro **Strati** per "spuntare" la relativa casella.

Inserire il valore desiderato per la quota della falda, ed osservare i cambiamenti nei grafici della finestra principale dopo aver selezionato la linguetta **Modello**. Selezionare nuovamente la linguetta **Dati**.

Prima di definire gli strati è utile inserire i risultati delle prove penetrometriche (se disponibili): queste ultime vengono infatti utilizzate da diverse correlazioni per il calcolo delle portate.

Nel pannello laterale di **IS Pali** premere **Prove** nel riquadro **Strati** in modo da aprire la finestra di dialogo dedicata all'inserimento dei valori.

Nel riquadro **Nuova prova** inserire un breve testo nella casella **Nome**, per identificare la prova.

Nella finestra a tendina **Tipo** scegliere la tipologia della prova eseguita.

Premere il tasto **Crea** per aprire una nuova finestra di dialogo.

Inserire la quota a cui è noto il risultato della prova nella casella **Quota** ed i relativi valori nella casella/e sottostante.

Premere il tasto **Inserisci**.

Ripetere quest'ultima operazione fino all'inserimento di tutti i dati.

Per modificare un dato, selezionare il numero progressivo della colonna **n°** della tabellina riassuntiva: modificare i valori e premere nuovamente il tasto **Inserisci**, altrimenti il tasto **Elimina**.

Tornare alla finestra precedente premendo **OK**.

Le prove sono inserite nel programma in modo discreto, per punti. Fra un punto e l'altro il programma utilizza una interpolazione lineare, perciò è a carico dell'utente operare una definizione corretta dei dati in proprio possesso.

L'inserimento dei dati riguardanti gli strati avviene in forma tabulare.

E' possibile inserire ed eliminare facilmente un nuovo strato.

Nel pannello laterale di **IS Pali** porre l'attenzione alla griglia presente nel riquadro **Strati**: questa riassume la successione stratigrafica.

Per inserire il nuovo strato, premere il tasto **Agg.**

Il programma inserisce un nuovo strato con valori predefiniti per tutte le caratteristiche.

Per eliminare l'ultimo strato, premere il tasto **El Ult.**

Muovendosi lungo la riga corrispondente ad uno strato, è possibile modificare velocemente tutti i parametri che lo caratterizzano. Tutte le modifiche hanno effetto immediato sui grafici rappresentati nella finestra principale.

- **Nome:**
Rappresenta una stringa identificativa dello strato (ha significato unicamente descrittivo).
Premendo il tasto di questa cella si accede al menu che permette di definire la classificazione dello strato. Questa è molto importante perché facilita la scelta dei metodi di calcolo più adatti ed ha conseguenze sui valori automaticamente adottati dal programma.
- **Quota:**
Rappresenta la quota iniziale dello strato. Uno strato prosegue indefinitamente verso il basso fino al successivo.
- **c', ϕ' :**
Coesione e angolo di attrito efficace.
- **s_u:**
Resistenza al taglio non drenata.
- **γ_d, γ_t :**
Peso di volume secco e peso di volume saturo del terreno.
- **k₀:**
Coefficiente di spinta a riposo.
Premendo il tasto di questa cella si accede al menu che permette di definire il metodo di calcolo di questo coefficiente. Ogni volta che il programma necessiterà di questo valore lo calcolerà col metodo scelto dall'utente.
- **k_a, k_p:**
Coefficienti di spinta attiva e di spinta passiva.

La terminologia impiegata è mutuata dall'analisi delle spinte su un'opera di sostegno: questi parametri permettono di definire l'interazione orizzontale del sistema palo – terreno.

Premendo il tasto di questa cella si accede al menu che permette di definire il metodo di calcolo di questi coefficienti. Ogni volta che il programma necessiterà di uno di questi valori li calcolerà coi metodi scelti dall'utente.

- **k_s :**
Modulo di reazione del terreno, rappresentante la rigidità del terreno nei confronti degli spostamenti orizzontali del palo.
Premendo il tasto di questa cella si accede al menu che permette di definire il metodo di calcolo di questo coefficiente. Ogni volta che il programma necessiterà di questo valore lo calcolerà col metodo scelto dall'utente.
- **Q_b :**
Portata limite di base.
Premendo il tasto di questa cella si accede al menu che permette di definire il metodo di calcolo di questo valore, nel caso in cui la base del palo ricada nello strato in questione. I metodi fra cui scegliere sono numerosi, il programma aiuta l'utente nella scelta mettendo a disposizione la guida in linea (tasto F1), e contrassegnando ogni metodo con tre colori che ne indicano l'applicabilità al caso analizzato (verde – giallo – rosso), oltre che con una descrizione riassunta dello stesso.
- **$Q_b - dz$:**
Rappresenta la descrizione dei cedimenti necessari alla completa mobilitazione della portata limite di base.
Questo termine riveste un ruolo fondamentale per l'analisi non lineare, e costituisce il presupposto per il calcolo dei cedimenti.
- **Q_s :**
Portata limite per attrito laterale.
Premendo il tasto di questa cella si accede al menu che permette di definire il metodo di calcolo di questo valore, nel caso il fusto del palo attraversi lo strato in questione. I metodi fra cui scegliere sono numerosi, l'utente è assistito nella scelta in modo analogo a quanto avviene per la portata limite di base.
- **$Q_s - dz$:**
Rappresenta la descrizione dei cedimenti necessari alla completa mobilitazione della portata limite per attriti laterale.
Questo termine, come l'analogo riguardante la portata di base) riveste un ruolo fondamentale per l'analisi non lineare ed il calcolo dei cedimenti: il calcolo della curva di mobilitazione del palo mette in evidenza l'importanza di questi due termini.

Nel pannello laterale di **IS Pali** porre l'attenzione alla prima riga della griglia presente nel riquadro **Strati**.

Nella cella corrispondente alla colonna **Nome** inserire il testo "Sabbia" e premere **Invio**. Premere il tasto visualizzato all'interno della cella per aprire una finestra di dialogo. Nella finestra a tendina **Classificazione dello strato** scegliere "Terreno Non Coesivo". Premere il tasto **OK**.

Nella cella corrispondente alla colonna **c'** inserire il valore "0" e premere **Invio**.

Nella cella corrispondente alla colonna **fi'** inserire il valore "34" e premere **Invio**.

Nella cella corrispondente alla colonna **su** inserire il valore "0" e premere **Invio**.

Nelle celle corrispondenti alle colonne **Peso secco** e **Peso saturo** inserire il valore "0.0019" e premere **Invio**.

Nella cella corrispondente alla colonna k_0 premere il tasto per aprire una finestra di dialogo. Scegliere il (classico) metodo "Jaky". Premere il tasto **OK**.

Nelle celle corrispondenti alle colonne k_a e k_p premere il tasto per aprire una finestra di dialogo. In entrambi i casi scegliere il metodo "Broms" e premere il tasto **OK**.

Nella cella corrispondente alla colonna k_s premere il tasto per aprire una finestra di dialogo. Scegliere il metodo "Utente" specificando la variazione lineare del modulo di reazione lungo la profondità dello strato. Premere il tasto **OK**.

Nella cella corrispondente alla colonna Q_b premere il tasto per aprire una finestra di dialogo. Scegliere il metodo "Vesic" ed impostarne i parametri, poi scegliere il metodo "Prova SPT" specificando la prova da utilizzare e fare lo stesso per il metodo "Prova CPT". Scegliere nuovamente il metodo "Vesic" e premere il tasto **OK**. In questo modo si è scelto di utilizzare il metodo "Vesic" per lo strato in questione, ma si sono salvate le impostazioni anche per gli altri due metodi, in modo da poterne confrontare i risultati.

Nella cella corrispondente alla colonna $Q_b - dz$ premere il tasto per aprire una finestra di dialogo. Scegliere il metodo "Relativo" ed inserire un valore di 0.3 nella casella **s/d lim**. Premere il tasto **OK**.

Nella cella corrispondente alla colonna Q_b premere il tasto per aprire una finestra di dialogo. Analogamente a quanto fatto per la portata di base, impostare i valori per i metodi "Generale", "Kulhavy" e "Meyerhof". Scegliere nuovamente il metodo "Generale" e premere il tasto **OK**. In questo modo si è scelto di utilizzare il metodo "Generale" per lo strato in questione, ma si sono salvate le impostazioni anche per gli altri due metodi, in modo da poterne confrontare i risultati.

Nella cella corrispondente alla colonna $Q_s - dz$ premere il tasto per aprire una finestra di dialogo. Scegliere il metodo "Assoluto" ed inserire un valore di 1.0 nella casella **d lim**. Premere il tasto **OK**.

Avendo impostato i valori delle caratteristiche del terreno, è possibile passare alla fase di progetto o di verifica.

2.3.2 Progetto

Il programma **IS Pali** fornisce alcuni strumenti progettuali ai propri utenti, utili per la scelta del metodo di calcolo delle portate e per il dimensionamento del palo. Il primo strumento consiste nella classificazione degli strati, che permette di distinguere automaticamente i metodi più indicati da adottare per il calcolo.

2.3.2.1 Scelta del metodo di calcolo.

Questa fase richiede di aver preventivamente impostato parametri coerenti per tutti i metodi di calcolo che si vogliono confrontare, strato per strato. Un metodo di calcolo "non completamente definito" darà risultati nulli o imprecisi.

Nella menu principale di **IS Pali** scegliere la voce **Confronta portate** dal menu **Calcolo**.

Si apre una finestra di dialogo che permette di confrontare le portate totali.

In alto a sinistra, premere la linguetta **Q_b - portata di base** per confrontare i risultati dei vari metodi riguardo alla portata limite di base del palo.

In alto a sinistra, premere la linguetta **Q_s - portata laterale** per confrontare i risultati dei vari metodi riguardo alla portata limite per attrito laterale del palo.

In basso a sinistra scegliere lo strato di interesse dal menu a tendina **Strato ispezionato** (per la portata di base viene automaticamente scelto lo strato dove è immorsata la base del palo).

In basso a sinistra scegliere **Tutti** oppure **Solo indicati** dal riquadro **Metodi visualizzati** per scegliere se analizzare i risultati di tutti i metodi o solo di quelli consigliati per il caso analizzato (colore verde).

Questo pannello confronta sempre le portate totali. Nel caso della portata laterale, vengono variati i metodi di calcolo per lo strato ispezionato, mentre per tutti gli altri strati viene utilizzato il metodo precedentemente scelto dall'utente: in questo modo è possibile stimare quanto la scelta effettuata su un solo strato incida sull'equilibrio globale.

2.3.2.2 Scelta della lunghezza di infissione minima del palo.

Questo strumento di calcolo prevede che l'utente abbia già definito in modo appropriato la stratigrafia ed il metodo di calcolo per ciascuno strato.

Nella menu principale di **IS Pali** scegliere la voce **Lunghezza per portata** dal menu **Calcolo**.

Si apre una finestra di dialogo che permette di confrontare la portata totale del palo in funzione della sua lunghezza.

Leggere la legenda in basso a sinistra per capire il significato dei diagrammi.

Premere il mouse sul diagramma per avviare la lettura puntuale.

Questo pannello valuta, in funzione della lunghezza del palo, il suo peso, la portata limite di base, la portata limite per attrito laterale ed infine la portata totale. Le lunghezze iniziale e finale sono scelte in funzione della lunghezza attuale del palo. L'utente deve interpretare con attenzione le eventuali discontinuità e picchi dovute alle corrispondenti alternanze stratigrafiche.

2.3.3 Verifica

Prima di effettuare il calcolo e le verifiche, occorre porre il programma in modalità "Calcolo".

2.3.3.1 Calcolo non lineare.

Il calcolo non lineare viene avviato dal pannello laterale o dall'analogo comando sul menu principale.

Nel pannello laterale di **IS Pali** porre l'attenzione al riquadro **Carichi e Calcolo**.

Premere il tasto **Avvia calcolo**.

Seguire sulla finestra principale di **IS Pali** l'evoluzione delle pressioni e degli spostamenti.

A calcolo terminato è possibile selezionare il caso di carico di interesse per visualizzarne i relativi risultati. Tutti i diagrammi sono interrogabili con una doppia pressione del tasto sinistro del mouse

(“doppio click”). Il tasto destro del mouse da accesso al pannello di visualizzazione dedicato ai diagrammi.

2.3.3.2 Verifiche sezionali.

Al termine del calcolo non lineare vengono memorizzate le sollecitazioni ed effettuate le verifiche sezionali a pressoflessione sulla sezione del palo. Analogamente ai diagrammi di sollecitazione, quelli di verifica sono interrogabili con una doppia pressione del tasto sinistro del mouse (“doppio click”). Anche in questo caso il tasto destro del mouse da accesso al pannello di visualizzazione dedicato ai diagrammi.

2.3.4 Curva di mobilitazione.

Lo strumento più indicativo per l’analisi dei cedimenti di un palo è probabilmente la curva di mobilitazione.

Premere la linguetta **Mobilitazione** nel lato superiore della finestra principale.

Nella menu principale di **IS Pali** scegliere la voce **Curve di spostamento in testa - risposta** → **Cedimento verticale - Portata Mobilitata (Curva di mobilitazione)** dal menu **Calcolo**.

Si avviano una serie di calcoli non lineari, al termine dei quali viene aperta una finestra di visualizzazione dei risultati.

Leggere la legenda in basso a sinistra per capire il significato dei diagrammi.

Premere il mouse sul diagramma per avviare la lettura puntuale.

La curva viene determinata per punti con una serie di analisi non lineari del problema definito dall’utente. Il diagramma mette in relazione la portata mobilitata dal palo in funzione dei cedimenti in testa. L’utente ha modo di distinguere fra i diversi livelli di cedimento che portano alla mobilitazione della portata laterale e quelli necessari alla mobilitazione della portata di base.