



### Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**  
Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»  
Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill  
Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)  
**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

# FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE - TIPOLOGIE

**Tipologie**

- . Pali infissi
- . Pali trivellati con asportazione di terreno
- . Pali di piccolo diametro
- . Pali di medio grande diametro
- . Pali in acciaio
- . Pali in cemento armato
- . Pali in legno

**Sezioni Trasversali**

- . Sezione circolare
- . Sezione rettangolare
- . Sezione poligonale

**Pali infissi**

- Prefabbricati
  - . Cemento armato
  - . Acciaio
  - . Legno
- Gettati in opera
  - . Palo Franki
  - . Pali derivati dalla tecnica Franki.

**Pali trivellati**

- Eseguiti con Bucket esportazione terreno
- Eseguiti elica continua (CFA)
- In Cemento armato



### Principali testi di riferimento

Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE – TIPO DI TERRENO



Pali in terreni a **grana fine**: terreni coesivi a bassa permeabilità



Pali in terreni a **grana grossa**: terreni dotati di alta permeabilità



Pali in terreni a grana fine: calcolo della capacità portante in termini di tensioni totali e calcolo in termini di tensioni efficaci



Pali in terreni a grana grossa: calcolo della capacità portante in termini di tensioni efficaci

Capacità portante palo singolo

$$Q_T + W_P = Q_B + Q_S$$



## Principali testi di riferimento

Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE : CAPACITA' PORTANTE

$$Q_T + W_P = Q_B + Q_S$$

$Q_T$  : Carico totale

$W_P$  : Peso del palo

$Q_B$  : Portanza di base

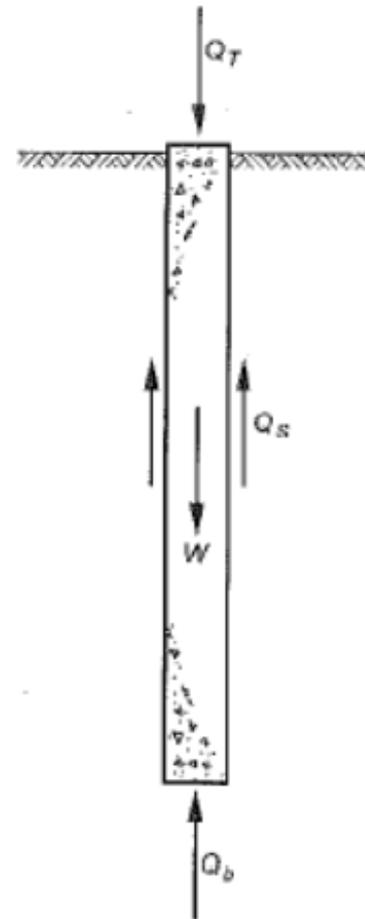
$Q_S$  : Portanza per attrito laterale

$$Q_B = q_{lim} \cdot A_b$$

$$Q_S = \tau_{lim} \cdot A_s$$

$A_s$  = Area laterale del palo

$A_B$  = Area base del palo





## Principali testi di riferimento

Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE IN ARGILLA

$$Q_B = q_{lim} \cdot A_b$$

$$Q_s = \tau_{lim} \cdot A_s$$

### Portanza di Base: $Q_B$

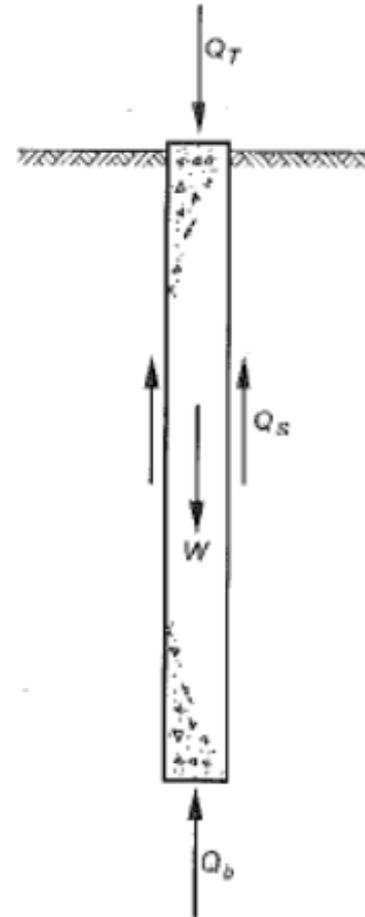
$$q_{lim} = c_u \cdot N_C$$

$$Q_B = (c_u \cdot N_C) \cdot A_b$$

Si assume

$$N_C = 9$$

$$Q_B = 9 \cdot c_u \cdot A_b$$



## Principali test di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE IN ARGILLA

$$Q_B = q_{lim} \cdot A_b$$

$$Q_s = \tau_{lim} \cdot A_s$$

### Portanza laterale: $Q_s$

$$\tau_{lim} = \alpha \cdot c_u$$

$\alpha$  Funzione di OCR argilla

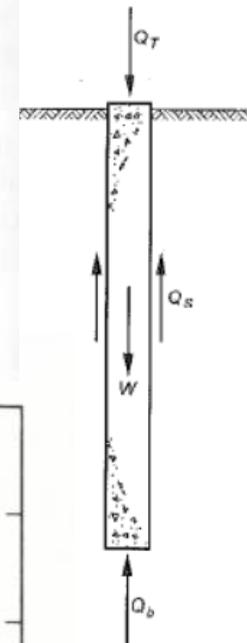
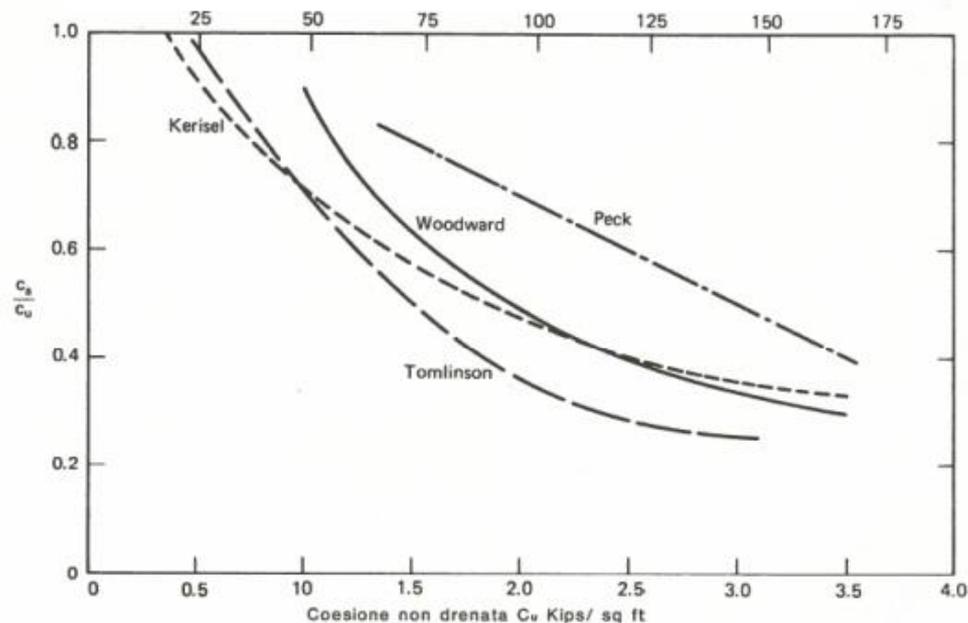
$\alpha = 0,9$  per argilla NC

$\alpha = 0,4-0,5$  per argilla OC

$$Q_s = \alpha \cdot c_u \cdot A_s$$

| Tipo di palo | Valori di $c_u$ (kPa) | Valori di $\alpha$      |
|--------------|-----------------------|-------------------------|
| Battuto      | $c_u \leq 25$         | 1,0                     |
|              | $25 < c_u < 70$       | $1 - 0,011(c_u - 25)$   |
|              | $c_u \geq 70$         | 0,5                     |
| Trivellato   | $c_u \leq 25$         | 0,7                     |
|              | $25 < c_u < 70$       | $0,7 - 0,008(c_u - 25)$ |
|              | $c_u \geq 70$         | 0,35                    |

Tab. 13.3. Valori di  $\alpha$  (eq. 13.9)



## Principali test di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE IN SABBIA

$$Q_B = q_{lim} \cdot A_b$$

$$Q_s = \tau_{lim} \cdot A_s$$

### Portanza di Base: $Q_B$

$$q_{lim} = \sigma'_{vo} \cdot N_q$$

$$Q_B = (\sigma'_{vo} \cdot N_q) \cdot A_b$$

Si assume

$$Q_B = (\sigma'_{vo} \cdot N_q) \cdot A_b$$

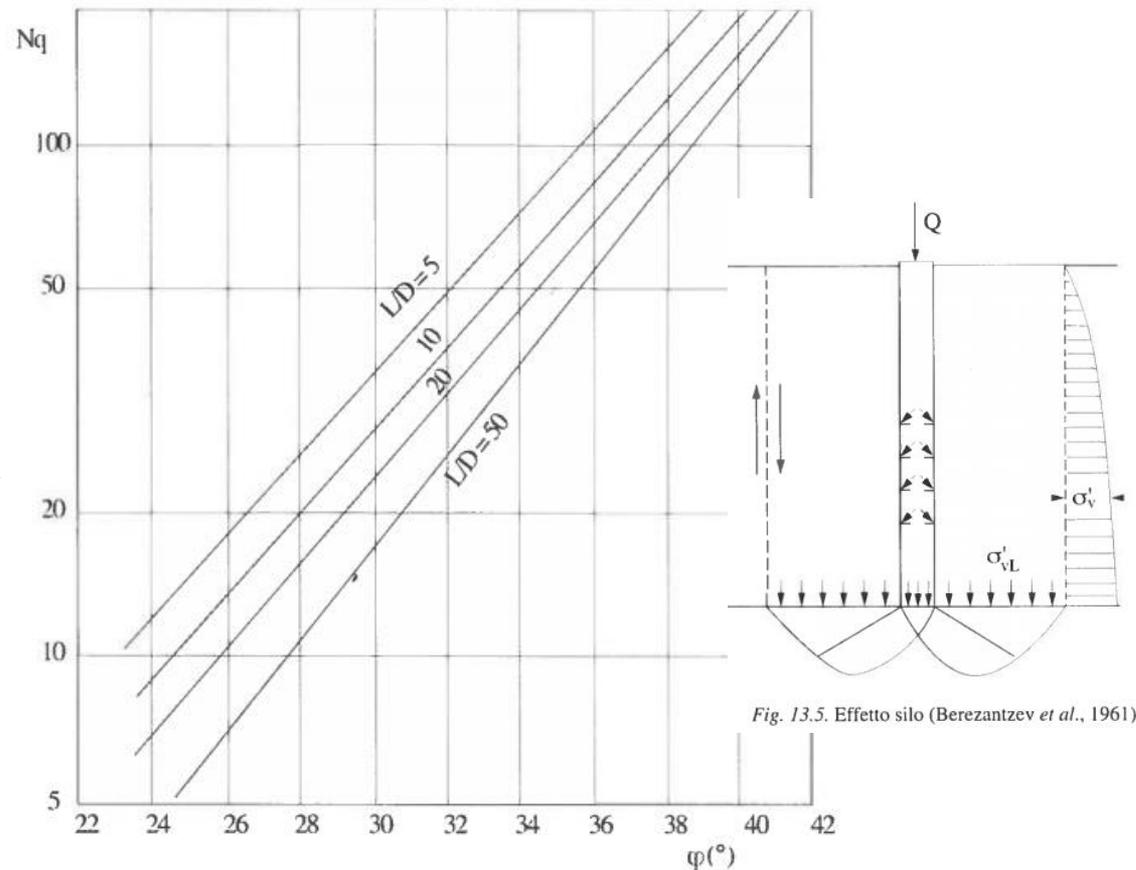


Fig. 13.5. Effetto silo (Berezantzev et al., 1961)

Fig. 13.6. Valori di  $N_q$  secondo Berezantzev et al. (1961)



## Principali testi di riferimento

Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE IN SABBIA

$$Q_B = q_{lim} \cdot A_b$$

$$Q_s = \tau_{lim} \cdot A_s$$

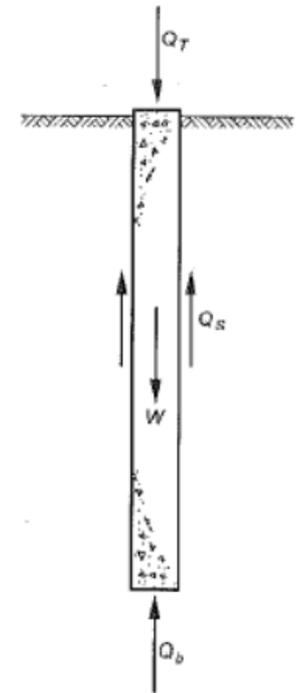
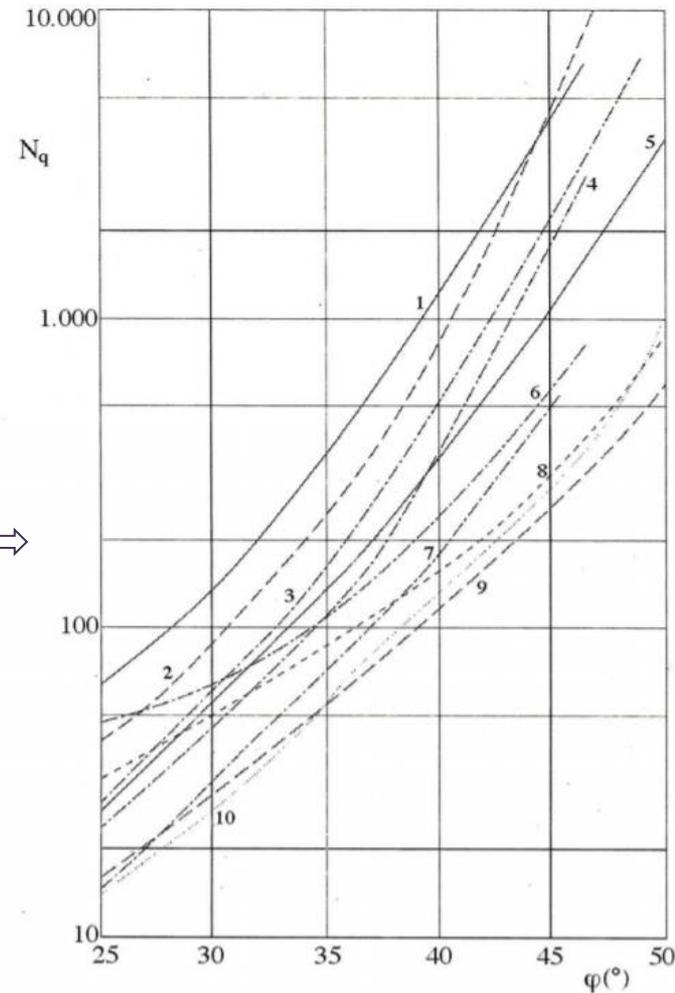
### Portanza di Base: $Q_B$

$$q_{lim} = \sigma'_{vo} \cdot N_q$$

$$Q_B = (\sigma'_{vo} \cdot N_q) \cdot A_b$$

Si assume

$$Q_B = (\sigma'_{vo} \cdot N_q) \cdot A_b$$



1. De Beer (1945)
2. Meyerhof (1953) battuti
3. Meyerhof (1953) trivellati
4. Brinch Hansen (1961)
5. Caquot, Kerisel (1956)
6. Skempton, Yassin, Gibson (1953)
7. Berenzantsev;  $L/d = 25+50$  (1961)
8. Brinch Hansen (1931)
9. Terzaghi (1943)
10. Vesic (1963)





## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE DA PROVE IN SITO

### Da prove SPT

$$s = \alpha + \beta N \text{ (kPa)}$$

$$p = K N \text{ (MPa)}$$

N è il valore netto determinato  
con la prova SPT

s è  $\tau_{lim}$

P è il valore di  $q_{lim}$

| Palo                     | Terreno    | $\alpha$ | $\beta$ | Note   | Fonte  |
|--------------------------|------------|----------|---------|--|--|
| Battuto prefabbricato    | Incoerente | 0        | 2       |  | Meyerhof, 1956<br>Shioi, Fukui, 1982   |
|                          | Qualsiasi  | 10       | 3,3     | $3 \leq N \leq 50$<br>$s \leq 170 \text{ kPa}$ | Decourt, 1982  |
|                          | Coesivo    | 0        | 10      |  | Shioi, Fukui, 1982   |
| Battuto gettato in opera | Incoerente | 30       | 2       | $s \leq 200 \text{ kPa}$                       | Yamashita, 1987<br>Shioi, Fukui, 1982  |
|                          | Coesivo    | 0        | 5       | $s \leq 150 \text{ kPa}$                       | Yamashita, 1987<br>Shioi, Fukui, 1982  |
|                          |            | 0        | 10      |  |  |
| Trivellato               | Incoerente | 0        | 1       |  | Findlay, 1984<br>Shioi, Fukui, 1982<br>Wright, Reese, 1979<br>Shioi, Fukui, 1982 |
|                          |            | 0        | 3,3     |  |  |
|                          | Coesivo    | 0        | 5       |  |  |
| 10                       | 3,3        |          |         |  |  |

Tab. 13.4. Correlazioni fra la resistenza laterale s (kPa) di un palo ed i valori di N dello SPT (eq. 13.10)



## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

# FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE DA PROVE IN SITO

## Da prove CPT

$$q_c = p$$

Si assume il valore medio  $q_c$   
fra le profondità  $L+d$  ed  $L-4d$ .

Per i pali battuti si può porre  
 $s = \alpha q_c$

Per la resistenza alla punta:

$$P = k \cdot P_1$$

| Palo                        | Terreno                  | K    | Fonte                                  |
|-----------------------------|--------------------------|------|--|
| Battuto<br>prefabbricato    | Sabbia                   | 0,45 | Martin <i>et al.</i> , 1987            |
|                             | Sabbia                   | 0,40 | Decourt, 1982                          |
|                             | Limo, limo sabbioso      | 0,35 | Martin <i>et al.</i> , 1987            |
|                             | Limo glaciale            | 0,25 | Thorburn, MacVicar, 1971               |
|                             | Limo sabbioso residuale  | 0,25 | Decourt, 1982                          |
|                             | Limo argilloso residuale | 0,20 | Decourt, 1982                          |
|                             | Argilla                  | 0,20 | Martin <i>et al.</i> , 1987            |
|                             | Argilla                  | 0,12 | Decourt, 1982                          |
| Battuto gettato<br>in opera | Qualsiasi                | 0,30 | Shioi, Fukui, 1982                     |
|                             | Incoerente               | 0,15 | Yamashita, 1987<br>( $p \leq 7,5$ MPa) |
| Trivellato                  | Sabbia                   | 0,10 | Shioi, Fukui, 1982                     |
|                             | Argilla                  | 0,15 | Shioi, Fukui, 1982                     |

Tab. 13. 5. Correlazioni fra la resistenza alla punta  $p$  (MPa)  
di un palo ed i valori di  $N$  dello SPT (eq. 13.11)

| Stato di addensamento | $q_c$ (MPa) | $\alpha$ (eq. 13.12) |
|-----------------------|-------------|----------------------|
| Molto sciolto         | < 2         | 0,020                |
| Sciolto               | 2 + 5       | 0,015                |
| Medio                 | 5 + 15      | 0,012                |
| Denso                 | 15 + 25     | 0,009                |
| Molto denso           | > 25        | 0,007                |

Tab. 13. 6. Correlazione fra resistenza alla punta  $q_c$  del CPT e resistenza laterale  $s$  (eq. 13.12)

## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE FORMULE DINAMICHE

E' possibile stimare la portanze dei pali infissi utilizzando formule dinamiche.

Le formule sono basate sull'analisi energetica:  $L_m = L_u + L_p$

$L_m$ : energia motore sviluppata

$L_u$ : energia utile per l'infissione del palo

$L_p$ : energia dissipata nella battitura del palo

Sono state elaborate diverse espressioni per stimare il valore della  $Q_{lim}$  ma i risultati che si ottengono con le diverse formule sono diversi. La formula più utilizzata è quella di Jambu (1953)

$$Q' = (\rho E_m) / (\delta \cdot K)$$



## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI DI FONDAZIONE CAPACITA' PORTANTE FORMULE DINAMICHE

$$Q' = (\rho E_m) / (\delta \cdot K)$$

$$k = C \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C}} \right)$$

$$\lambda = \frac{E_m L}{EA \delta^2}$$

$$C = 0,75 + 0,15 \frac{W_p}{W_h}$$

A: area della sezione

E: modulo di Young

L: lunghezza del palo

| Condizioni                                      | Valori di n |
|---|-------------|
| Pali di legno con testa deteriorata             | 0           |
| Pali di legno con testa integra                 | 0,25        |
| Cuffia di acciaio rivestita di legno duro       | 0,32        |
| Cuffia di legno duro su palo di acciaio         | 0,40        |
| Piastra di acciaio su palo di acciaio o di c.a. | 0,50        |
| Maglio di ghisa su palo di c.a. senza cuffia    | 0,40        |

Tab. 13. 8. Valori del coefficiente di restituzione n (eq. 13.16)

| Tipo di palo  | Valori di C <sub>2</sub> (mm) |     |     |     |
|---|-------------------------------|-----|-----|-----|
|   | 35                            | 70  | 105 | 140 |
| 4Q'/πd <sup>2</sup> (MPa)   |                               |     |     |     |
| Acciaio senza cuffia  | 0                             | 0   | 0   | 0   |
| Legno senza cuffia  | 1                             | 2,5 | 4   | 5   |
| Prefabbricato in c.a. con cuffia                                    | 3                             | 6   | 9   | 15  |
| Acciaio con cuffia in legno   | 1                             | 2   | 3   | 4   |
| Cuffia costituita da due dischi di fibra tra due piastre di acciaio | 0,5                           | 1   | 1,5 | 2   |

Tab. 13. 9. Valori del termine C<sub>2</sub> (eq. 13.16)

## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**  
Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»  
Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill  
Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)  
**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI TRIVELLATI DI PICCOLO DIAMETRO - MICROPALI

Si tratta di pali trivellati con diametri da 100mm a 300mm

Sono costituiti da una armatura centrale e da malta di cemento.

L'armatura centrale è generalmente un tubo di acciaio con diametro esterno inferiore al diametro della perforazione di almeno 6cm.

L'armatura può essere costituita anche da profili di acciaio aperti (IPE, HE, ecc)

La malta di cemento è generalmente costituita da acqua e cemento in proporzioni  $A/C = 0,5$ .

I micropali possono essere realizzati con semplici iniezioni (IGU) oppure con iniezioni ripetute (IRS) (micropali valvolati).

$$Q_{lim} = P + S = P + \pi \cdot d_s \cdot L_s \cdot s$$

P è irrilevante viste le dimensioni trasversali del micropalo

$d_s$ : è il diametro

$L_s$ : lunghezza della zona iniettata

S: resistenza tangenziale all'interfaccia fra zona iniettata e terreno.

$d_s = \alpha \cdot d$  :    d: il diametro di perforazione  
                   $\alpha$ : coefficiente maggiorativo



## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI TRIVELLATI DI PICCOLO DIAMETRO - MICROPALI

$$Q_{lim} = P + S = P + \pi \cdot d_s \cdot L_s \cdot s$$

$d_s = \alpha \cdot d$  :  $d$ : il diametro di perforazione  
 $\alpha$ : coefficiente maggiorativo

| Terreno                        | Valori di $\alpha$ |           | Quantità minima di miscela consigliata  |
|--------------------------------|--------------------|-----------|---|
|                                | IRS                | IGU       |   |
| Ghiaia                         | 1,8                | 1,3 - 1,4 | $1,5 V_s$   |
| Ghiaia sabbiosa                | 1,6 - 1,8          | 1,2 - 1,4 | $1,5 V_s$   |
| Sabbia ghiaiosa                | 1,5 - 1,6          | 1,2 - 1,3 | $1,5 V_s$   |
| Sabbia grossa                  | 1,4 - 1,5          | 1,1 - 1,2 | $1,5 V_s$   |
| Sabbia media                   | 1,4 - 1,5          | 1,1 - 1,2 | $1,5 V_s$   |
| Sabbia fine                    | 1,4 - 1,5          | 1,1 - 1,2 | $1,5 V_s$   |
| Sabbia limosa                  | 1,4 - 1,5          | 1,1 - 1,2 | IRS: $(1,5 - 2)V_s$ ; IGU: $1,5 V_s$  |
| Limo                           | 1,4 - 1,6          | 1,1 - 1,2 | IRS: $2V_s$ ; IGU: $1,5V_s$   |
| Argilla                        | 1,8 - 2,0          | 1,2       | IRS: $(2,5 - 3)V_s$ ; IGU: $(1,5-2)V_s$   |
| Marne                          | 1,8                | 1,1 - 1,2 | $(1,5 - 2)V_s$ per strati compatti  |
| Calcari marnosi                | 1,8                | 1,1 - 1,2 | $(2 - 6)V_s$ o più per strati fratturati  |
| Calcari alterati o fratturati  | 1,8                | 1,1 - 1,2 |   |
| Roccia alterata e/o fratturata | 1,2                | 1,1       | $(1,1-1,5)V_s$ per strati poco fratturati<br>$2V_s$ o più per strati fratturati |

Tab. 13. 12. Valori del coefficiente  $\alpha$  (eq. 13. 21 );  $V_s = L_s \cdot \frac{\pi d_s^2}{4}$



### Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI TRIVELLATI DI PICCOLO DIAMETRO - MICROPALI

I valori di  $s$  dipendono dalla natura e dalle caratteristiche dei terreni oltre che dalla tecnologia di costruzione del micropalo.

I valori di  $s$  sono forniti dai diagrammi riportati nelle slides seguenti

| Terreno   | Tipo di iniezione |           |
|---|-------------------|-----------|
|   | IRS               | IGU       |
| Da ghiaia a sabbia limosa                         | SG1               | SG2       |
| Limo e argilla                                    | AL1               | AL2       |
| Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato | MC1               | MC2       |
| Roccia alterata e/o fratturata                    | $\geq R1$         | $\geq R2$ |

*Tab. 13.13.* Indicazioni per la scelta del valore di  $s$



### Principali testi di riferimento

Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio

Bustamante Doix «Une methode pour le calcul des tirants et des micropieux injectes»

## FONDAZIONI PROFONDE: PALI TRIVELLATI DI PICCOLO DIAMETRO - MICROPALI

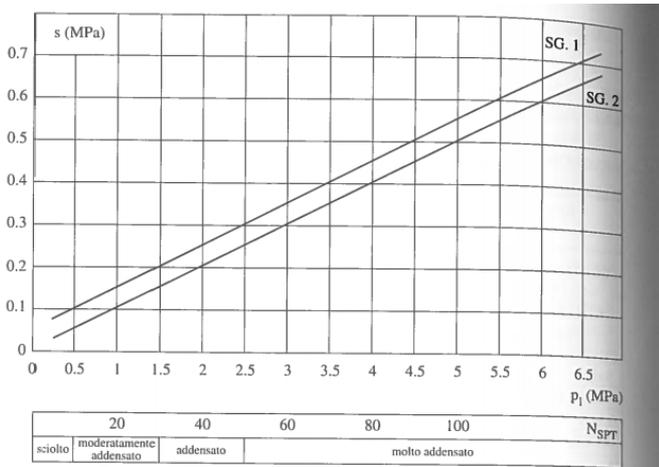


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie

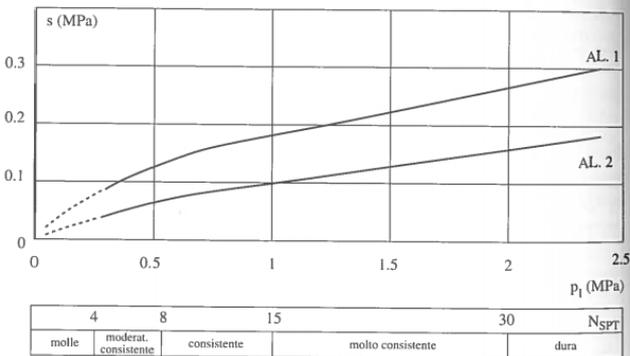


Fig. 13.17. Abaco per il calcolo di s per argille e limi

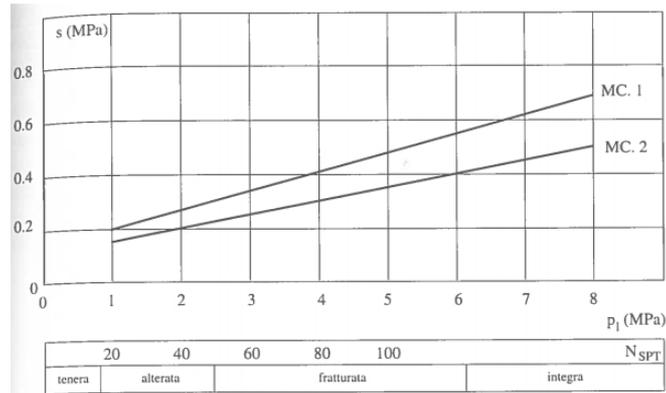


Fig. 13.18. Abaco per il calcolo di s per gessi, marne, marne calcaree

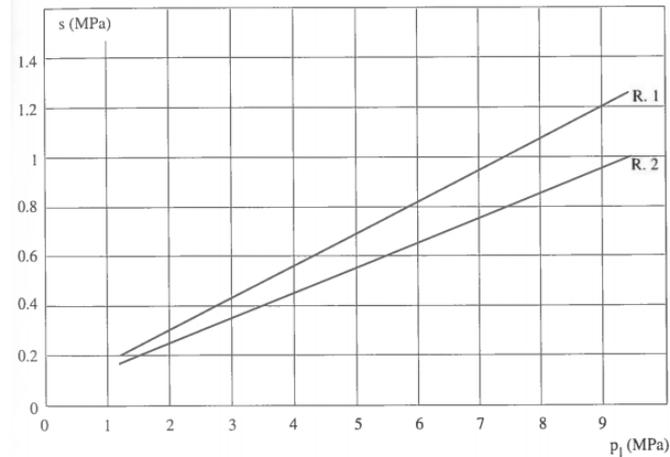


Fig. 13.19. Abaco per il calcolo di s per rocce alterate e fratturate

## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**  
 Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»  
 Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill  
 Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)  
**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## FONDAZIONI PROFONDE: EFFETTO DI GROppo

I pali in gruppo, in generale, hanno una portanza di gruppo inferiore al prodotto della portanza dei singolo palo per il numero dei pali.

$$Q_{g\lim} = n \cdot e \cdot Q_{\lim}$$

$Q_{g\lim}$  : portanza di palificata

n: numero di pali della palificata

e: coefficiente di efficienza della palificata

$Q_{\lim}$ : carico limite del singolo palo

Per pali in sabbia (Vesic, 1968) si può assumere:  $e = 1$

Per pali in argilla  $e < 1$

Si può adottare la formula di Converse e Labarre:

$$E = 1 - \frac{\arctg\left(\frac{d}{i}\right) (m-1)n + (n-1)m}{\pi \frac{1}{2} \cdot m \cdot n}$$

Dove:

m numero di file di pali

n numero di pali per fila

i interasse

E' opportuno utilizzare la Formiula di Converse e Labarre e la formula di Terzaghi e prendere il valore minore.

Terzaghi e Peck propongono un'altra soluzione che consiste nel assumere che i pali ed il terreno tra essi compreso rappresenti un unico blocco. Adottando l'espressione:

$$Q_{g\lim} = B_1 \cdot B_2 (N_c \cdot cu + \gamma L) + 2 L (B_1 + B_2) cu$$

$B_1$  e  $B_2$  rappresentano i lati in pianta del blocco

nella quale  $B_1$  e  $B_2 < B_1$  rappresentano le dimensioni in pianta della palificata. Al coefficiente  $N_c$  potranno essere assegnati i valori riportati nella tabella 13.15 in funzione del rapporto  $L/B_2$  fra lunghezza del palo e larghezza del gruppo. Per un gruppo avente forma in pianta rettangolare ( $1 \leq B_1/B_2 \leq 10$ ), il valore di  $N_{c,rett}$  potrà essere ottenuto da quello relativo alla striscia indefinita  $N_{c\infty}$  mediante la formula:

$$N_{c,rett} = N_{c\infty} (1 + 0,2B_2/B_1)$$

| $L/B_2$  | $N_c$         |                |
|----------|---------------|----------------|
|          | $B_1/B_2 = 1$ | $B_1/B_2 > 10$ |
| 0,25     | 6,7           | 5,6            |
| 0,50     | 7,1           | 5,9            |
| 0,75     | 7,4           | 6,2            |
| 1,00     | 7,7           | 6,4            |
| 1,50     | 8,1           | 6,8            |
| 2,00     | 8,4           | 7,0            |
| 2,50     | 8,6           | 7,2            |
| 3,00     | 8,8           | 7,4            |
| $\geq 4$ | 9,0           | 7,5            |

Tab. 13. 15. Coefficienti  $N_c$  per la fondazione diretta equivalente



Università  
degli Studi  
di Ferrara

**DE** Department of  
Engineering  
Ferrara

INGEGNERIA CIVILE [1227]  
CLASSE LM-23  
Corso di Fondazioni [012388]  
A.A. 2020-2021

### Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

# OPERE IN TERRA



## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## OPERE IN TERRA

Sono opere realizzate con il materiale «terra»

La terra può essere utilizzata tal quale oppure additivata con altri materiali sciolti o con l'introduzione di inclusioni

La terra è utilizzata come materiale da costruzione e come tale deve avere determinate caratteristiche per ottenere, attraverso il trattamento progettato, gli obiettivi attesi per le opere stesse, in termini di resistenza, rigidità, robustezza, vita nominale, funzionalità.

### Tipologie di opere in terra

- Rilevati stradali, ferroviari, aeroportuali
- Reinterri strutturali
- Opere di sostegno
- Argini e dighe in terra
- Discariche rifiuti solidi urbani

### Tipologia delle terre

Terre a grana grossa  
Terre a grana fine

### Classificazione

Caratteristiche mineralogiche  
Granulometria ed assortimento granulometrico  
Forma e dimensioni dei grani  
Forma delle superfici dei grani

Trattamento

Realizzazione dell'opera d'arte

## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**  
Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»  
Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill  
Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)  
**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## OPERE IN TERRA

## TRATTAMENTO

### OPERE REALIZZATE CON LA TERRA TAL QUALE

COMPATTAZIONE



TEORIA DELLA COMPATTAZIONE

La terra viene stesa per strati di spessori stabiliti dal progetto e viene compattata con macchine compattatrici

La compattazione assesta i grani della terra a formare una struttura artificiale con risorse meccaniche sufficienti a garantire la stabilità dell'opera soggetta alle azioni che dovrà sopportare : argini, rilevati, opere di sostegno





Università  
degli Studi  
di Ferrara

DE Department of  
Engineering  
Ferrara

INGEGNERIA CIVILE [1227]  
CLASSE LM-23  
Corso di Fondazioni [012388]  
A.A. 2020-2021

## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## OPERE IN TERRA

### TRATTAMENTO

OPERE REALIZZATE CON LA TERRA ADDITIVATA  
STABILIZZAZIONE A CALCE – A CEMENTO

TRATTAMENTO CON CALCE TERRE CON  
IP > 10



Riduzione della plasticità  
Riduzione del limite liquido  
Diminuzione dell'umidità



Maggiore efficacia di compattazione  
Ottenimento di migliore resistenza a taglio  
Ottenimento di maggiore rigidezza  
Ottenimento di maggiore durabilità nel tempo

### Trattamento a Calce

Ca O: Ossido di calcio (Calce Viva)

$Ca O + H_2O \rightarrow Ca (OH)_2 + \text{calore}$  (Calce Spenta)





Università  
degli Studi  
di Ferrara

**DE** Department of  
Engineering  
Ferrara

INGEGNERIA CIVILE [1227]  
CLASSE LM-23  
Corso di Fondazioni [012388]  
A.A. 2020-2021

## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## OPERE IN TERRA

### TRATTAMENTO

OPERE REALIZZATE CON LA TERRA ADDITIVATA  
STABILIZZAZIONE A CALCE – A CEMENTO

TRATTAMENTO CON CALCE TERRE CON  
IP > 10



Riduzione della plasticità  
Riduzione del limite liquido  
Diminuzione dell'umidità



Maggiore efficacia di compattazione  
Ottenimento di migliore resistenza a taglio  
Ottenimento di maggiore rigidezza  
Ottenimento di maggiore durabilità nel tempo

Il trattamento deve essere progettato attraverso prove di laboratorio che devono individuare la quantità ottimale di calce da utilizzare.

Si definisce CIC Consumo Iniziale di Calce la quantità che produce un pH di 12,4, secondo la Norma ASTM D 6276-99°: 2006





Università  
degli Studi  
di Ferrara

**DE** Department of  
Engineering  
Ferrara

INGEGNERIA CIVILE [1227]

CLASSE LM-23

Corso di Fondazioni [012388]

A.A. 2020-2021

## Principali testi di riferimento

**Viggiani C. (1998) «Fondazioni» Ed. Hevelius**

Lancellotta R., Calavera J. (2000) «Fondazioni»

Bowles J. (1988) «Foundation Analysis and Design» – Ed. McGraw-Hill

Dispense Fioravante V. «geotecnica» (Unife)

**Poulos H.G., Davis E.H. (1988) «Pali» Ed. Flaccovio**

## OPERE IN TERRA

### INCLUSIONI – TERRE RINFORZATE – TERRE ARMATE

Le costruzioni delle opere in terra sono realizzate inserendo «armature» nel corpo di terra compattata



Terre rinforzate.pdf

