

FONDAZIONI

ing. Nunziante Squeglia

**ANALISI DELLE FONDAZIONI SU PALI
IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO**

ANALISI DEL PALO SINGOLO

Palo soggetto a forze verticali

- stima attraverso relazioni empiriche
- metodo delle curve di trasferimento
- metodo analitico approssimato
- metodo BEM lineare
- metodo BEM non lineare

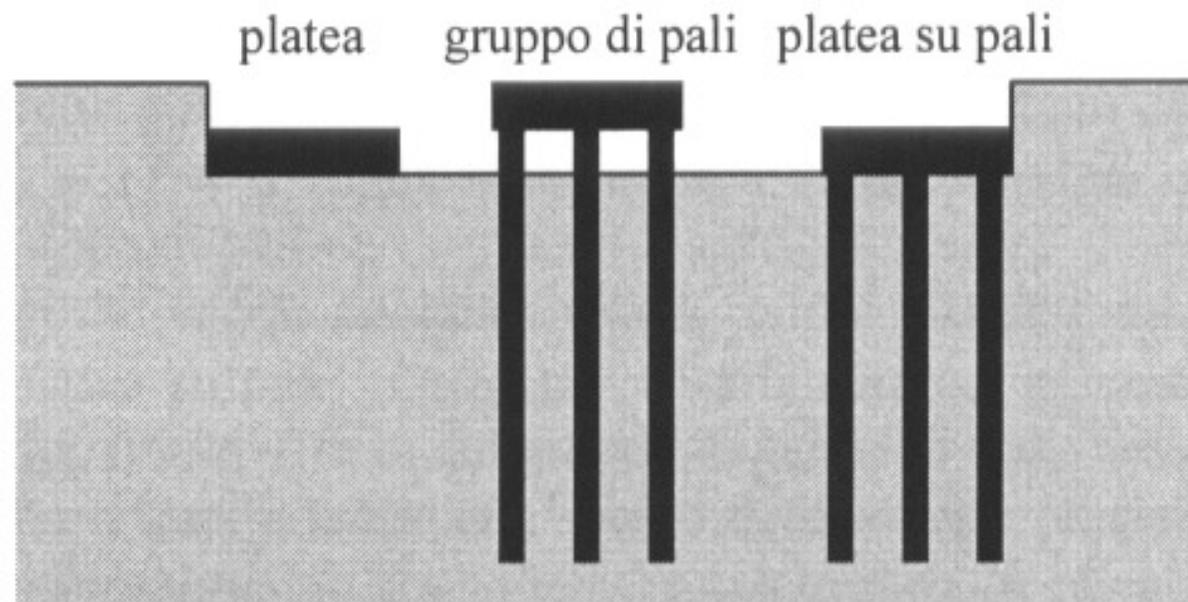
Palo soggetto a sforzi orizzontali

- metodo di Winkler
- metodo di Reese e Matlock

ANALISI DELLA FONDAZIONE SU PALI

- Gruppo di pali
 - metodo empirico
 - metodo delle equivalenze
 - winkler
 - metodo dei coefficienti di interazione
- Platea su pali
 - metodo PDR

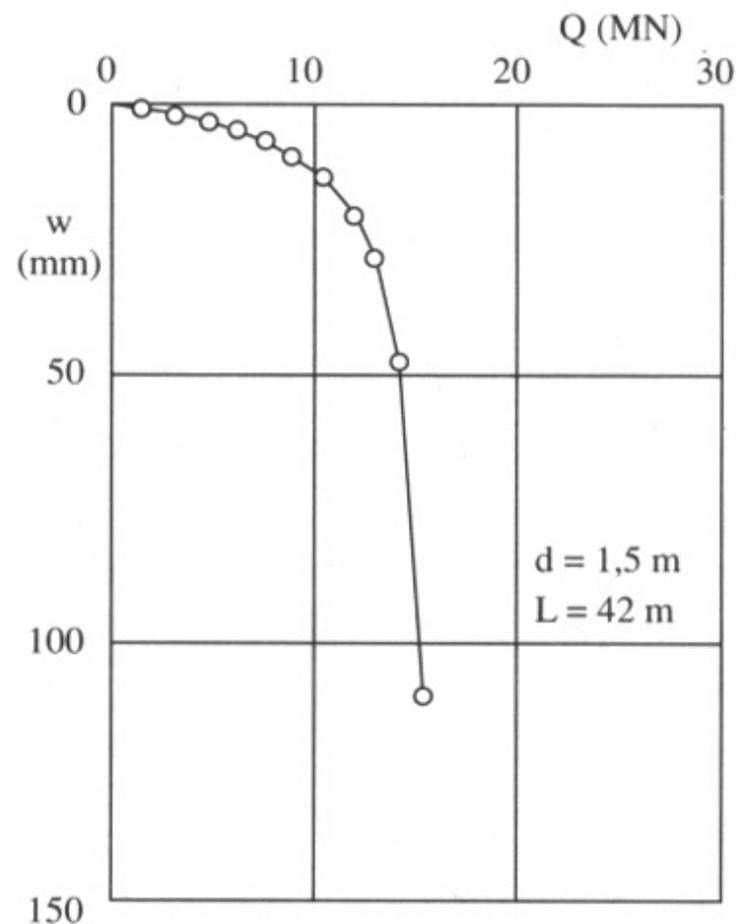
Definizione dei tipi di fondazione su pali



Le Norme Tecniche (dal 2008) permettono di considerare anche le “platee su pali”

Non linearità della relazione carichi – cedimenti:

- Concentrazione sforzi
- scorrimenti all' interfaccia



Metodo delle curve di trasferimento

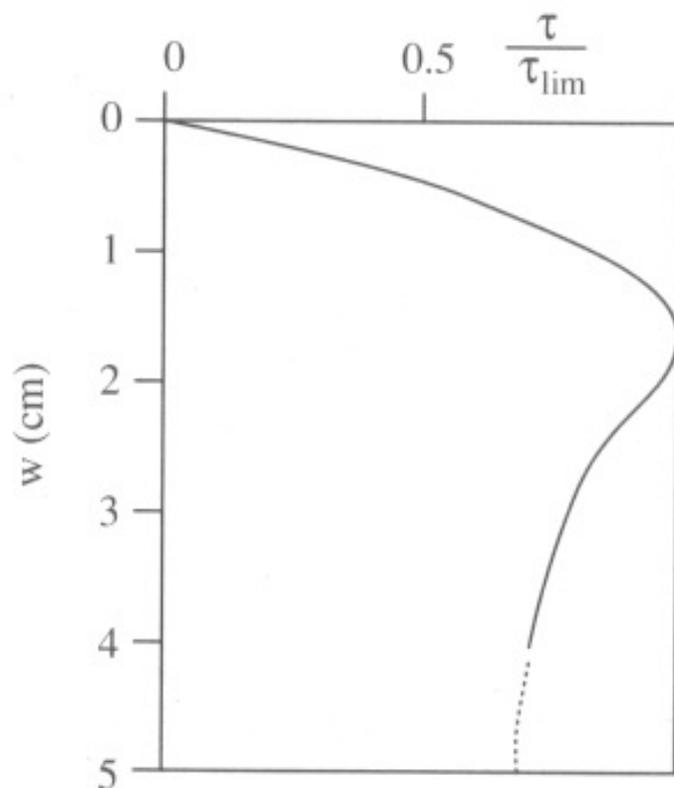
Scopo:

Costruzione della curva carico - cedimento

Metodo delle curve di trasferimento

Esempio di
curva di trasferimento

τ_{lim} , sforzo tangenziale limite



Metodo delle curve di trasferimento

Caratteristiche di base del metodo

- Curve di trasferimento di punta e superficie laterale
- Deformabilità assiale del palo
- calcolo mediante iterazioni → automazione

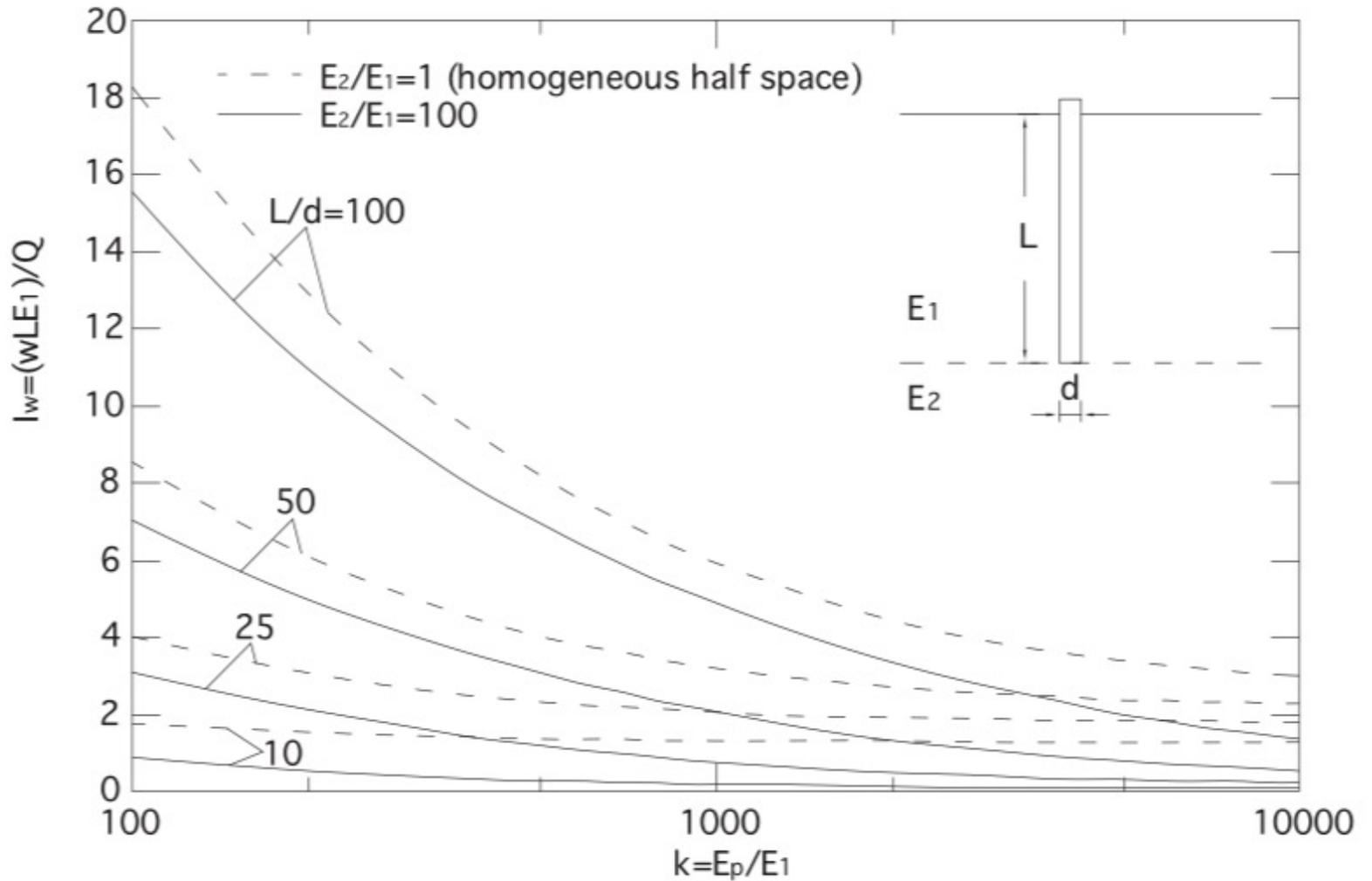
Metodo analitico approssimato

Caratteristiche di base del metodo

- variazione di τ con $1/r$
- applicazione della teoria dell'elasticità
- introduzione del concetto di distanza di estinzione

Metodo analitico approssimato

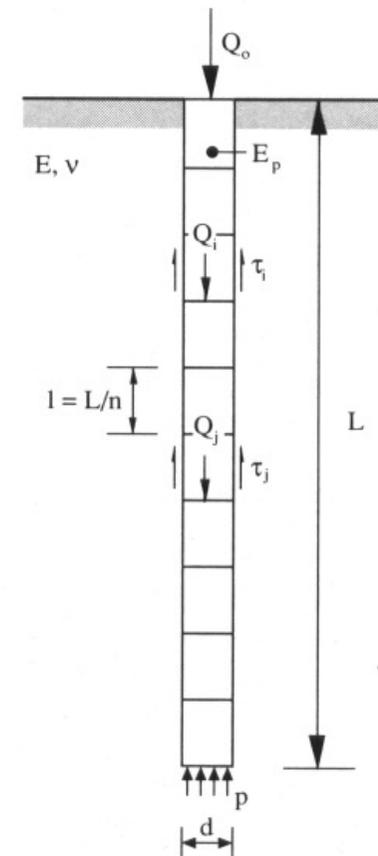
$$w = \frac{Q}{E_1 L} I_w$$



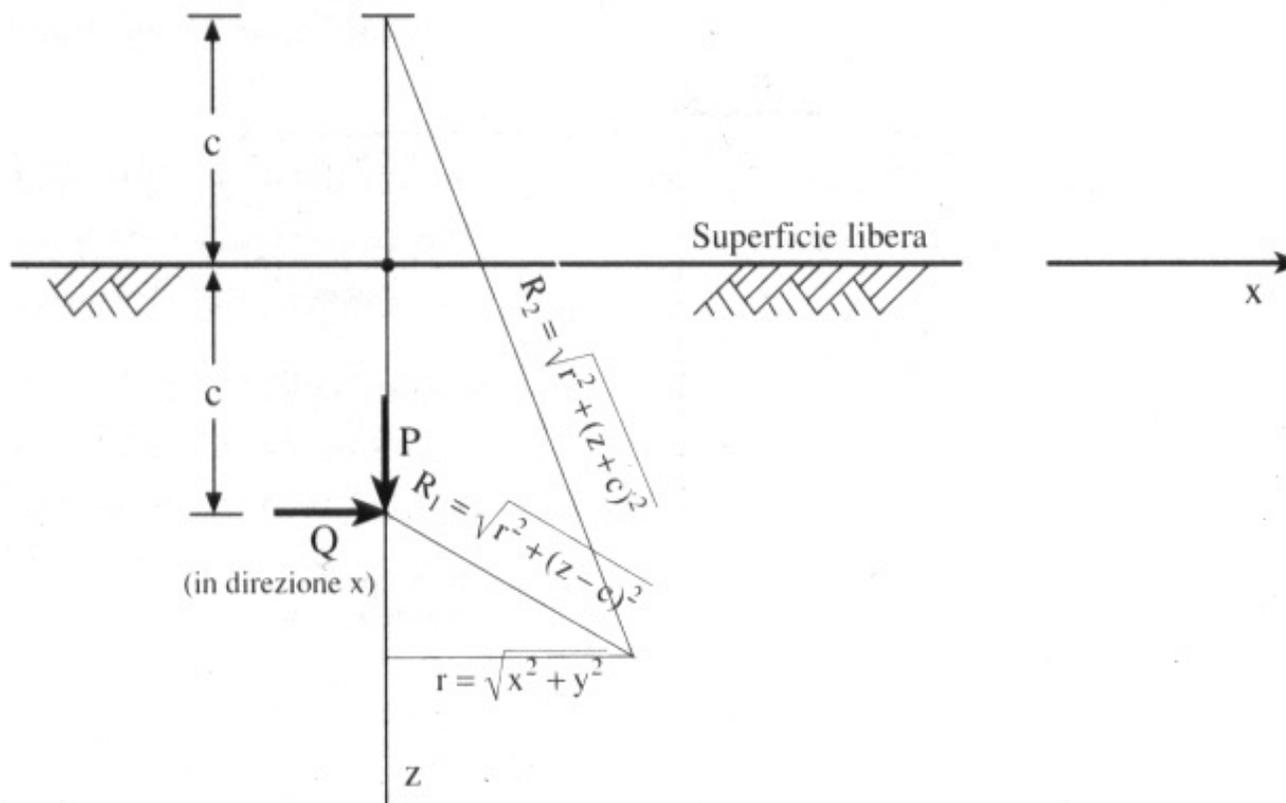
Metodo agli elementi di contorno

Basato su soluzioni della teoria dell'elasticità (Mindlin, 1936)

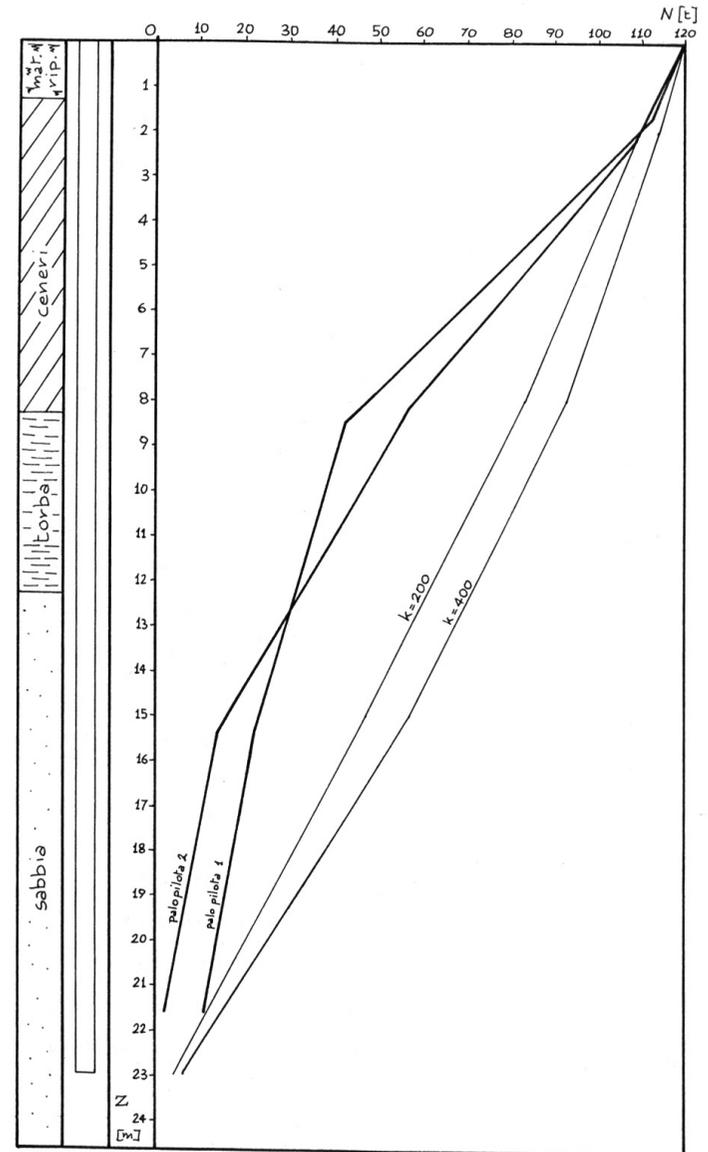
Adatto all'introduzione di un legame elasto – plastico dell'interfaccia palo - terreno



Schema della soluzione di Mindlin



Confronto tra sforzo normale calcolato con BEM lineare e sforzo normale misurato



Palo singolo sotto forze orizzontali

$$E_p J \frac{d^4 y(z)}{dz^4} + k_h \cdot d \cdot y(z) = 0$$

Reese & Matlock (1956) - $k_h = n_h \frac{z}{d}$

Baguelin et Al (1978) – k_h da prove pressiometriche

Broms (1964) – k_h da prove triassiali CIU

$$k_h = 1.67 \frac{q_{\max}}{2 \cdot \varepsilon_{50} \cdot d}$$

Palo singolo sotto forze orizzontali

$$E_p J \frac{d^4 y(z)}{dz^4} + k_h \cdot d \cdot y(z) = 0$$

- 1. Se k_h è costante, soluzione alla Winkler**
- 2. Se k_h aumenta con la profondità, soluzioni numeriche**
- 3. Se si considerano molle non lineari, soluzioni numeriche**

**Gruppo di pali sotto forze orizzontali
Poulos & Davis (1980)**

Due pali	0.50 k_h
Tre o quattro pali	0.33 k_h
Cinque o più	0.25 k_h

oppure Reese & Van Impe (2001)

FONDAZIONI SU PALI

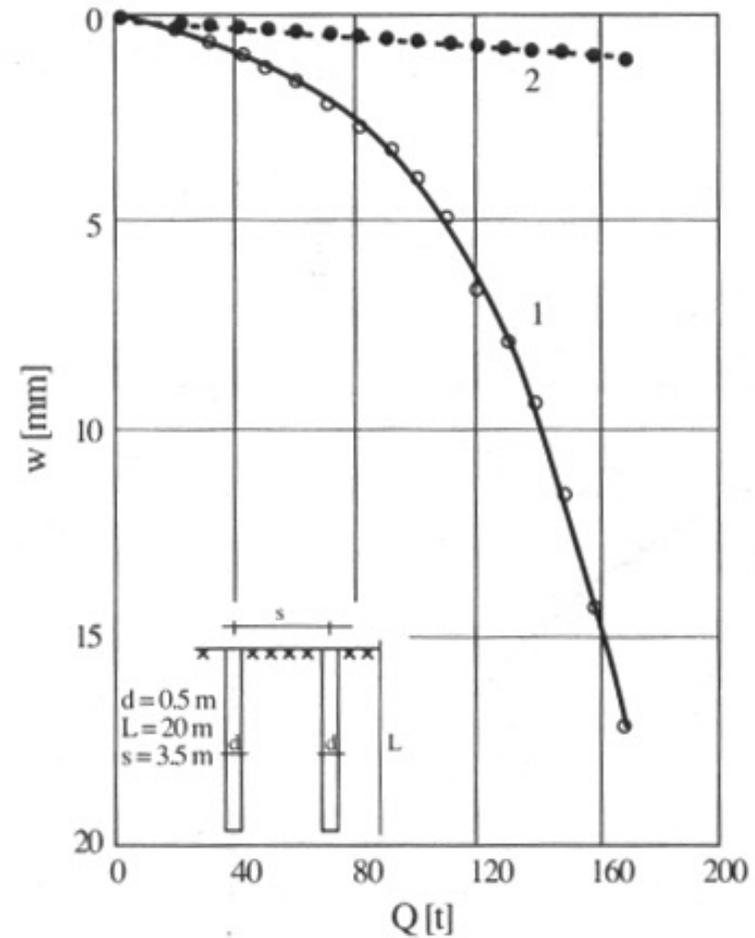
Problematiche:

- Cedimento medio e differenziale
- Distribuzione dei carichi tra i pali
- Sollecitazioni nella struttura di collegamento

FONDAZIONI SU PALI

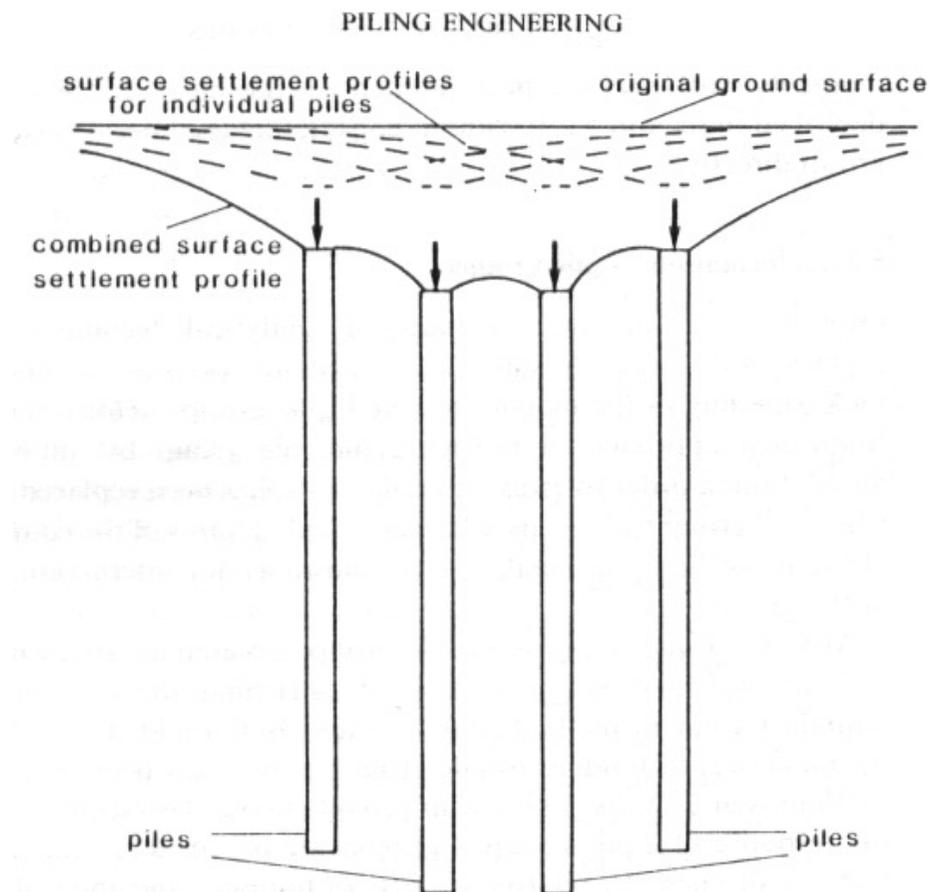
Fenomeni di base

Palo 1 – Caricato
Palo 2 – Scarico



FONDAZIONI SU PALI

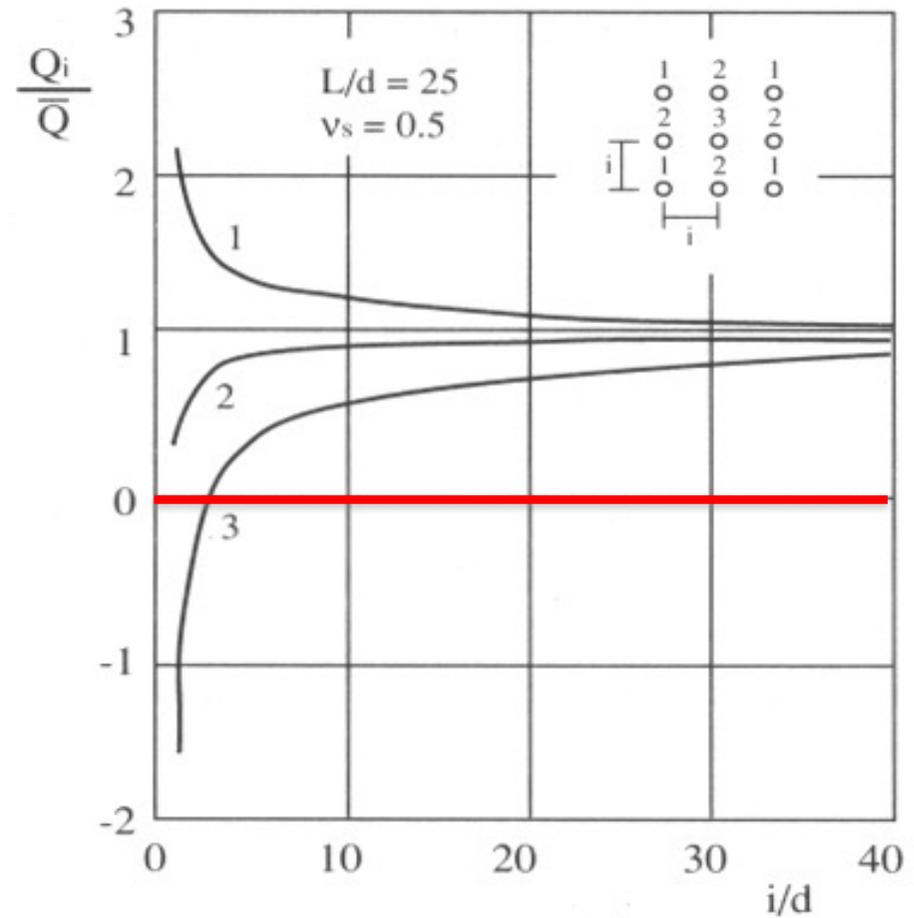
Fenomeni di base



FONDAZIONI SU PALI

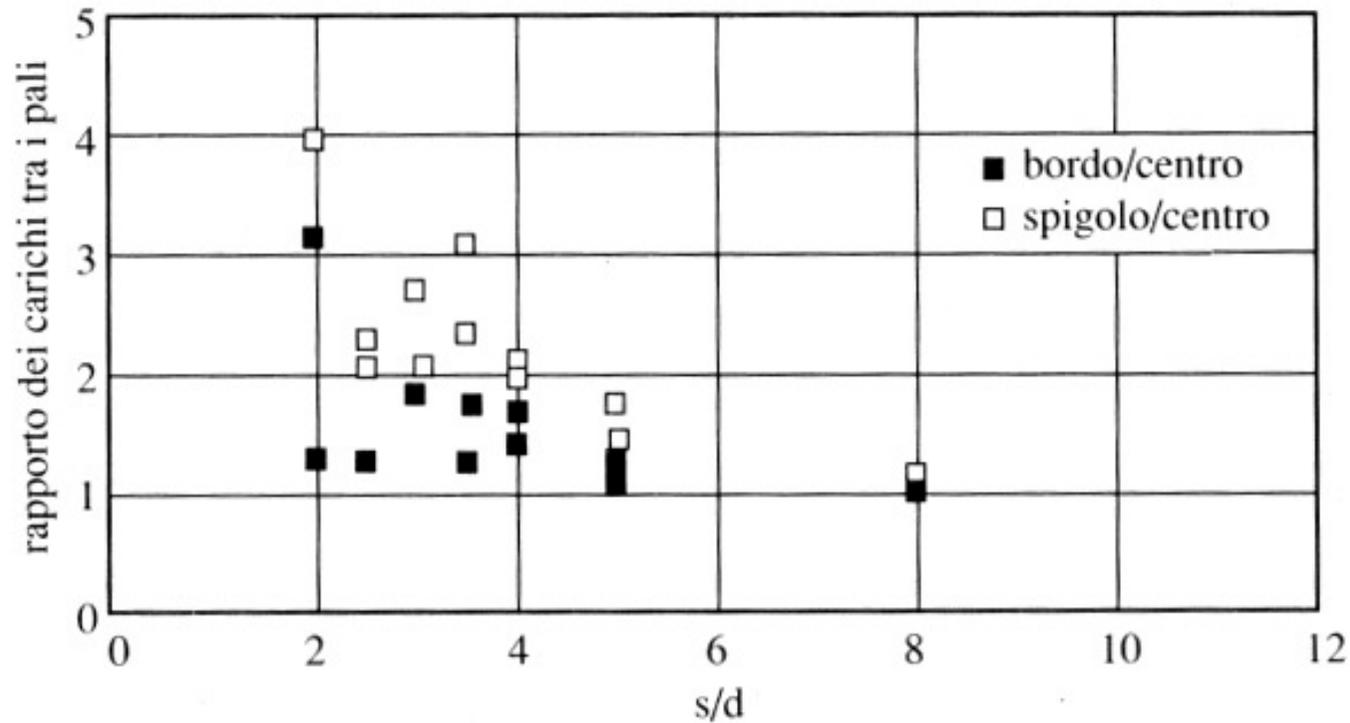
Fenomeni di base

**Distribuzione teorica tra i
pali di un gruppo 3 x 3**



FONDAZIONI SU PALI

Fenomeni di base



Distribuzione misurata tra i pali di un gruppo

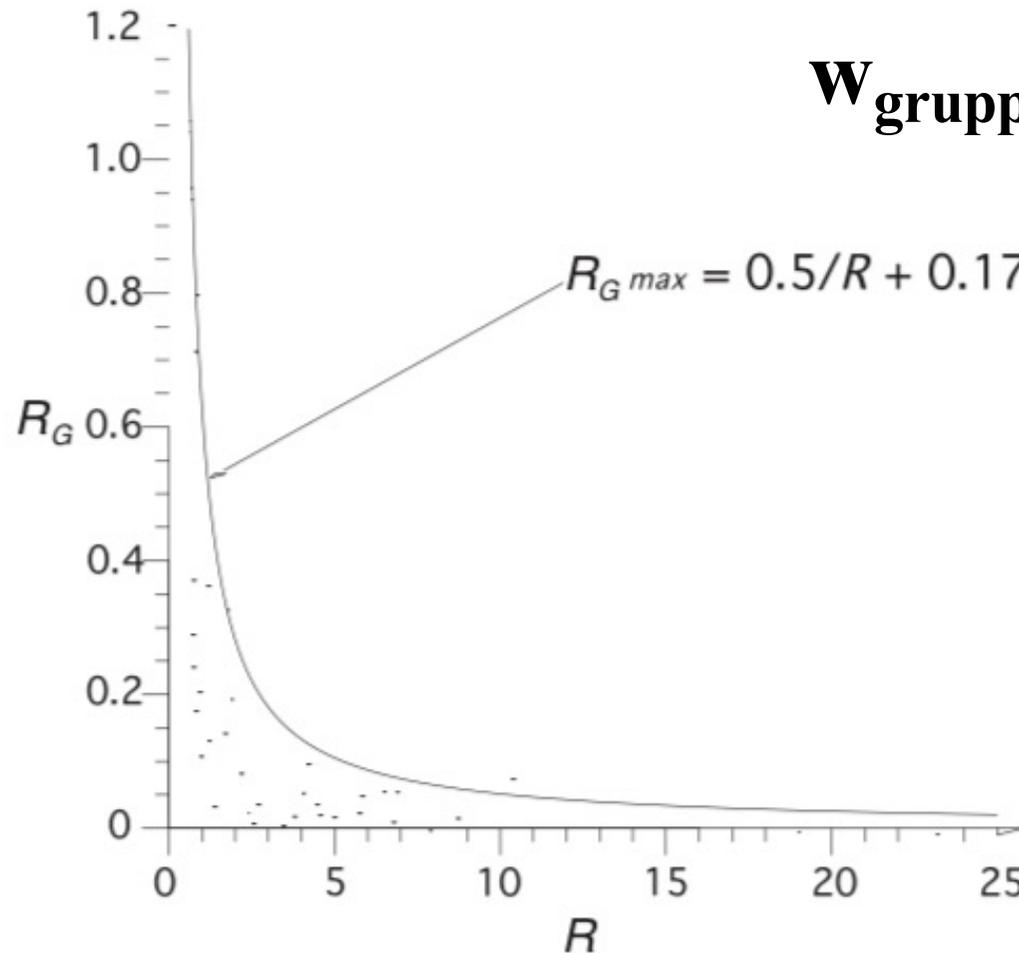
PALI IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Gruppo di pali: Cedimento

- **metodo empirico**
- **metodi delle equivalenze (palo equiv., piastra eq.)**
- **Winkler (!!)**
- **metodi dei coefficienti di interazione**

Metodo empirico (Viggiani et al. 2012)

$$W_{\text{gruppo}} = W_{\text{singolo}} \cdot n \cdot R_g$$



$$R = (n \cdot s/L)^{0.5}$$

Metodo empirico (Mandolini et Al., 1997)

Cedimento differenziale

$$R_{ds} = \frac{\Delta w}{w_{\text{gruppo}}}$$

$$R_{ds,\max} = 0.36 \cdot R^{0.32}$$

Metodo delle equivalenze

Randolph (1994) – piccoli gruppi ($R < 2$)
Palo Equivalente

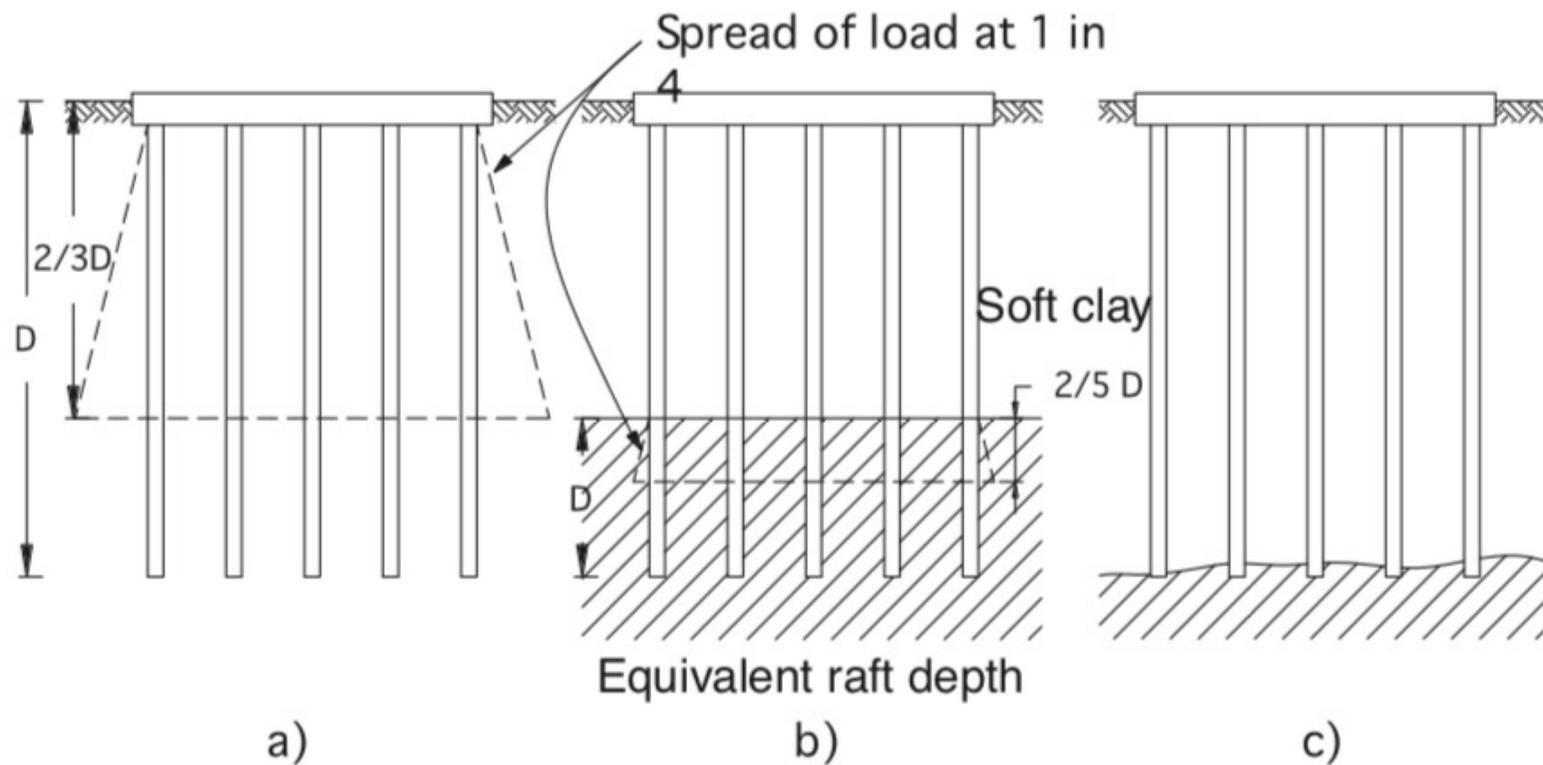
$$d_e = 1.13\sqrt{A_g}$$

$$E_{eq} = E + (E_p - E)\frac{A_p}{A_g}$$

Metodo delle equivalenze

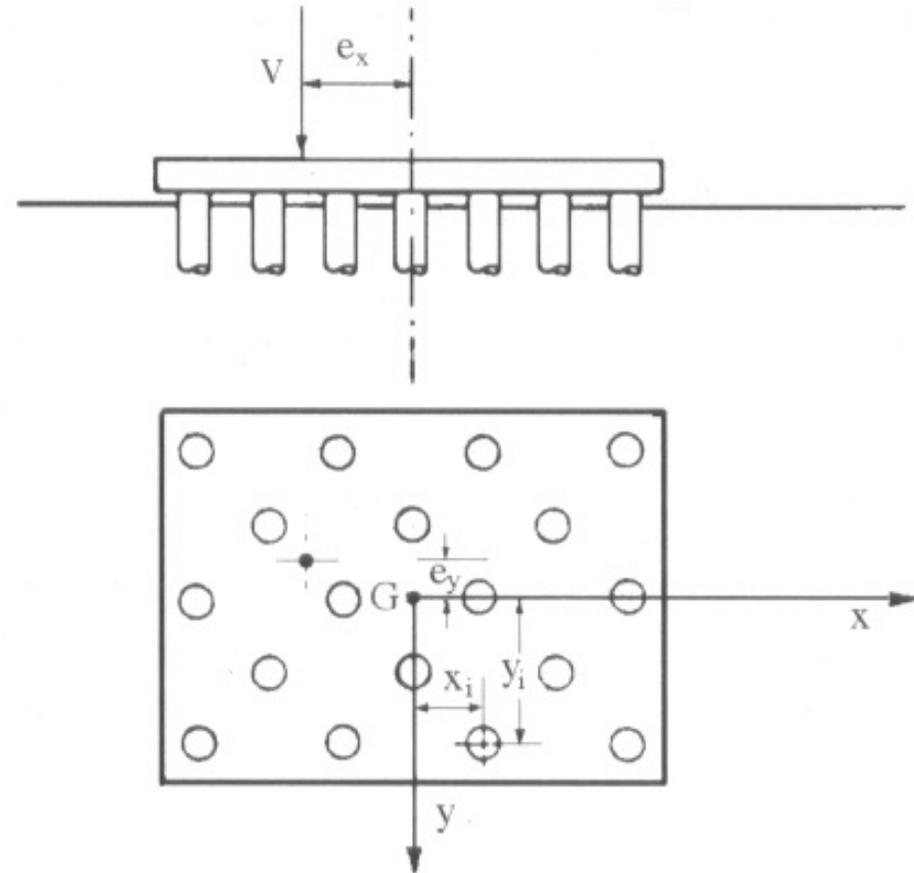
Tomlinson (1994) – grandi gruppi ($R > 4$)

Piastra Equivalente



Pali come molle elastiche indipendenti (tipo Winkler)

$$Q_i = \frac{V}{n} + \frac{V \cdot e_x}{\sum_{i=1}^n x_i^2} x_i + \frac{V \cdot e_y}{\sum_{i=1}^n y_i^2} y_i$$



Metodo dei coefficienti di interazione

Piastra infinitamente rigida

$$w_i = \sum_{j=1}^n w_{1,i} Q_j \alpha_{ij}$$

$$V = \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$V \cdot e_x = \sum_{i=1}^n x_i Q_i$$

$$V \cdot e_y = \sum_{i=1}^n y_i Q_i$$

$$\sum_{j=1}^n w_{1,i} Q_j \alpha_{ij} = w_0 + \delta_x y_i + \delta_y x_i$$

Piastra infinitamente flessibile \Rightarrow valore di Q_i noto

Metodo dei coefficienti di interazione

Determinazione degli α_{ij}

- analisi con metodo BEM della coppia di pali
- mezzo elastico lineare (anche stratificato)
- distanza di estinzione ($\alpha_{ij} = 0$ se $s_{ij} > r_m$)
- sovrapposizione degli effetti
- effetto irrigidente dei pali non considerato

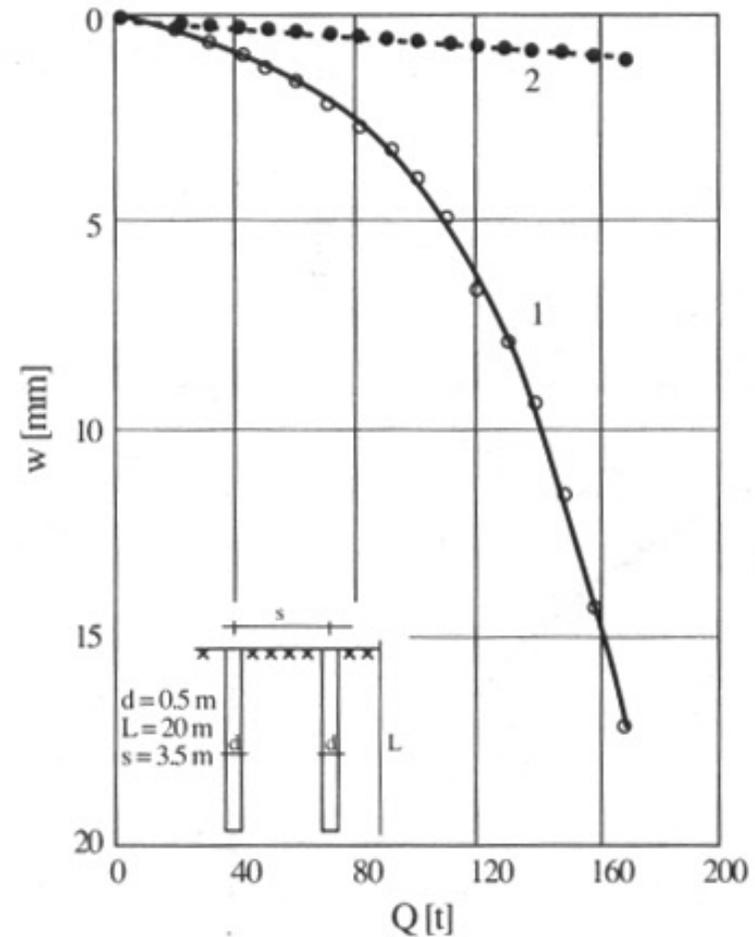
$$\alpha_{ij} = \frac{W_j}{W_i}$$

Metodo dei coefficienti di interazione

Linearità o non linearità?

$$\alpha_{ij} = \frac{W_j}{W_i}$$

α_{ij} è costante
o variabile ?

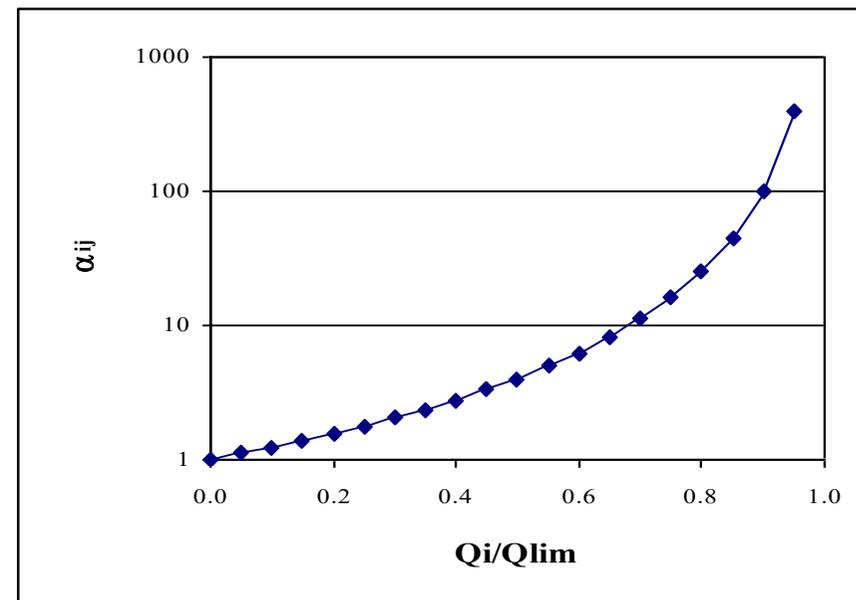


Metodo dei coefficienti di interazione

Linearità o non linearità?

- non linearità concentrata all' interfaccia palo – terreno
- α_{ij} è costante per $i \neq j$
- α_{ii} varia con il livello di carico (analisi incrementale):

$$\alpha_{ii} = \frac{1}{\left(1 - \frac{Q_i}{Q_{lim}}\right)^2}$$



PALI IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Gruppo di pali: metodo dei coefficienti di interazione

- calcolo del cedimento medio
- calcolo del cedimento differenziale
- sollecitazioni nella struttura una volta noti Q_i

Fondazioni

GRUPPI DI PALI			
PGROUP	Banerjee & Driscoll (1976)	BEM con analisi completa del continuo lineare elastico	Semispaio elastico
PILGPI	O'Neill et al. (1977)	Metodo ibrido non lineare (curve di trasferimento + Mindlin)	Stratificato
DEFPIG	Poulos (1980)	Metodo lineare ai coefficienti di interazione (BEM semplificato per il palo singolo e per l'interazione fra pali)	Stratificato
	Chow (1986)	Metodo ibrido non lineare (curve di trasferimento + Mindlin)	Stratificato
PIGLET	Randolph (1987)	Metodo lineare ai coefficienti di interazione (soluzioni analitiche approssimate per il palo singolo e per l'interazione fra pali)	Gibson
GRUPPALO	Mandolini (1994)	Metodo non lineare ai coefficienti di interazione (BEM semplificato per il palo singolo e per l'interazione fra pali; distanza di estinzione)	Stratificato
MAP	Guiducci (1997)	Metodo non lineare ai coefficienti di interazione	Doppio strato o Gibson
