



NUANS

Manuale di validazione

Softing s.r.l.
Giugno 2014

Sommario

Sommario	1
1 CALCOLO DEI CEDIMENTI	2
2 CASO DI PROVA 1	3
3 CASO DI PROVA 2	19
4 CASO DI PROVA 3	28
5 CALCOLI PORTANZA TERRENO	38
6 CASO DI PROVA 1 PORTANZA FONDAZIONE.....	41
7 CALCOLO PORTANZA PER FONDAZIONI PROFONDE (PALI DI FONDAZIONE).....	68
8 CASO DI PROVA 1 PORTANZA PALI.....	73

1 CALCOLO DEI CEDIMENTI

I metodi di calcoli dei cedimenti che saranno applicati nei successivi casi di prova sono:

Metodo del cedimento elastico

Metodo del cedimento edometrico

Metodo di Schmertmann

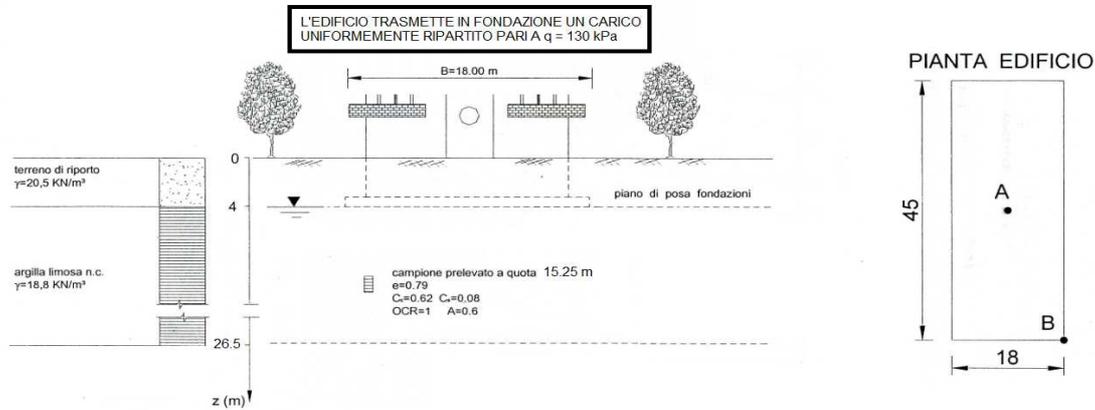
Metodo di Burland-Burbidge

Quello che si effettuerà nel prosieguo è il calcolo dei cedimenti applicando procedure di calcolo manuale seguendo i metodi maggiormente diffusi in letteratura tecnica, e successivamente confrontare tale risultato con il calcolo eseguito dal software NUANS, prodotto da Softing s.r.l..

Una breve descrizione del procedimento adottato è riportata nei paragrafi successivi, mentre per la descrizione delle procedure di calcolo implementate nel software si rimanda alla guida teorica del software.

2 CASO DI PROVA 1

2.1 Dati di progetto



Elenco dei Dati:

Profondità della falda: - 4,0 m

Strato 1: Terreno di riporto

Peso unità di volume = $\gamma = 20,5$

Strato 2: Argilla limosa n.c. (normalmente consolidata)

Campione prelevato a quota -15,25 m

Peso unità di volume = $\gamma = 18,8$

Angolo di attrito = $\varphi = 28^\circ$

Indice dei vuoti = $e = 0,79$

Grado di consolidazione = $OCR = 1,0$

Indice di compressibilità = $C_c = 0,62$

Indice di rigonfiamento = $C_s = 0,08$

Modulo elastico in condizioni non drenate = $E_u = 3,2 \text{ Mpa}$

Modulo elastico in condizioni drenate = $E' = 2,8 \text{ Mpa}$

Coefficiente di poisson = $\nu = 0,3$

Modulo Edometrico = $E' \times [(1-\nu') / (1-\nu-2\nu'^2)] = 2,8 \times [(1-0,3) / (1-0,3-2 \times 0,3^2)] = 3,76 \text{ Mpa} = E_{ed}$

Dati edificio:

Dimensione fondazione a platea: 18,0x45,0 m

Carico scaricato in fondazione = $q = 130 \text{ kPa}$

Quota di imposta della fondazione = -4,00 m

2.1.1 Calcolo tensione effettiva trasmessa dalla fondazione

Dato che l'edificio sarà fondato a quota - 4.0 m dal piano campagna, verrà calcolato il carico effettivo da considerare per il calcolo dei cedimenti, dato che lo sbancamento del terreno di riporto per un'altezza di 4.0 m costituisce uno scarico, per il terreno, pertanto il carico effettivo da considerare è pari al carico trasmesso dall'edificio meno il peso del terreno sbancato.

- Calcolo della differenza effettiva (delta sigma) del carico che si trasmette al piano di fondazione:

$$q_{\text{terreno sbancato}} = \gamma_{\text{riporto}} \times h_{\text{scavo}} = 20,5 \times 4,0 = 82,0 \text{ kN/mq}$$

$$q_{\text{netto}} = q_{\text{edif}} - q_{\text{terreno sbancato}} = 130,0 - 82,0 = \mathbf{48,0 \text{ kN/mq} = q_{\text{netto}}}$$

Questo è il carico effettivo che sarà considerato nel calcolo.

2.1.2 Calcolo del cedimento elastico (Metodo 1)

- Calcolo del cedimento elastico nello strato di argilla:

Cedimenti immediati:

Cedimento elastico:

$$W = (q \times B \times I_1 \times I_2) / E_u$$

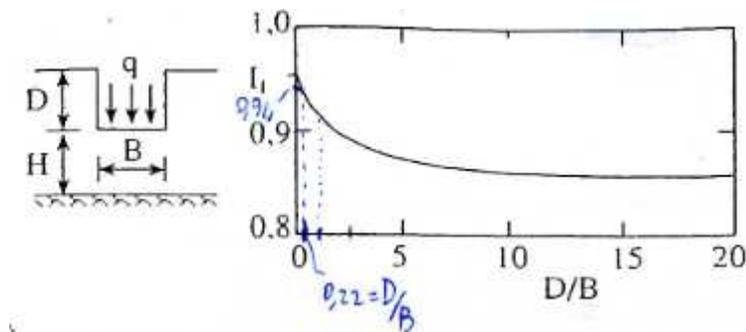
B base del carico

E_u modulo elastico in condizioni non drenate

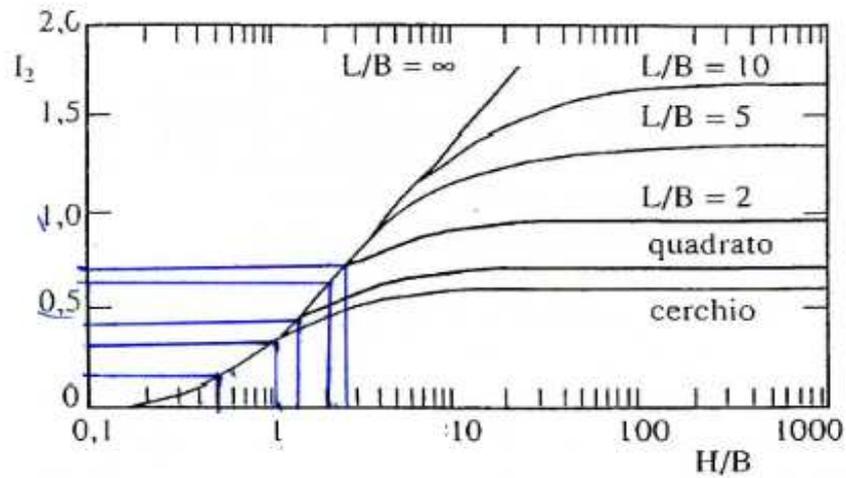
I_1 fattore dipendente dal rapporto D/B ove D è la quota del P.F. rispetto al piano campagna

I_2 fattore dipendente dal rapporto L/B ed H/B ove H è la quota di affondamento del punto in esame, tale parametro varia quindi con la profondità e quindi dovremo dividere lo strato di argilla in sottostrati.

Una volta calcolato il valore di D/B leggeremo il corrispettivo valore di I_1 nel seguente grafico:



Una volta calcolati tutti i valori di H_i/B leggeremo i corrispettivi valori di I_2 nel seguente grafico



La curva cui dovremo riferirci è quella prossima alla curva $L/B=2$ dato che per noi $L/B=45/18=2,5$

Divideremo lo strato di argilla in 5 sottostrati, ognuno spesso 4,5 m.

Andiamo quindi a calcolare I_1 ed I_2 :

I_1 :

$D/B = 4,0/18,0 = 0,22$ da cui nel grafico di pagina precedente determiniamo **$I_1 = 0,94$**

Avendo diviso in 5 sottostrati, calcoliamo le grandezze che ci interessano nel punto mediano di ogni sottostrato che indicheremo con A,B,C,D,E

I_2 :

$L/B = 45/18 = 2,5$

$H_A/B = 2,25/18 = 0,125$ da cui **$I_2A = 0,05$**

$H_B/B = 6,75/18 = 0,375$ da cui **$I_2B = 0,15$**

$H_C/B = 11,25/18 = 0,625$ da cui **$I_2C = 0,23$**

$H_D/B = 15,75/18 = 0,875$ da cui **$I_2D = 0,28$**

$H_E/B = 20,25/18 = 1,125$ da cui **$I_2E = 0,61$**

Calcolo cedimento

Procediamo ora al calcolo di E_u

Con il primo metodo di calcolo verrà considerato il modulo elastico variabile con la profondità, procederemo calcolando E_{ui} nei punti medi di ogni sottostrato.

La relazione da utilizzare è la seguente: $E_u(z) = E_o + m \times z_i$

m è un coeff. Costante e vale 0,25

z_i = profondità relativa allo strato di argilla del punto di calcolo

E_o nel nostro caso coincide con E_u che però è stato determinato alla profondità di 15,25 m dal P.C. pertanto per i punti 1 e 2 sarà minore, mentre per il punto 3 abbiamo il valore corretto

$$E_{uA} = E_u - m \times z_1 = 3,2 - 0,25 \times 9,0 = \underline{\underline{950,00 \text{ kN/mq}}}$$

$$E_{uB} = E_u - m \times z_2 = 3,2 - 0,25 \times 4,5 = \underline{\underline{2075,00 \text{ kN/mq}}}$$

$$E_{uC} = E_u = \underline{\underline{3200,00 \text{ kN/mq}}}$$

$$E_{uD} = E_u + m \times z_4 = 3,2 + 0,25 \times 4,5 = \underline{\underline{4325,00 \text{ kN/mq}}}$$

$$E_{uE} = E_u + m \times z_5 = 3,2 + 0,25 \times 9,0 = \underline{\underline{5450,00 \text{ kN/mq}}}$$

Procediamo a calcolare quindi il cedimento immediato (elastico) in ogni sottostrato:

$$W_{elA} = (q \times B \times I_1 \times I_{21})/E_{uA} = (48 \times 18 \times 0,94 \times 0,05)/950 = \underline{\underline{0,042 \text{ m}}}$$

$$W_{elB} = (q \times B \times I_1 \times I_{22})/E_{uB} = (48 \times 18 \times 0,94 \times 0,15)/2075 = \underline{\underline{0,059 \text{ m}}}$$

$$W_{elC} = (q \times B \times I_1 \times I_{23})/E_{uC} = (48 \times 18 \times 0,94 \times 0,23)/3200 = \underline{\underline{0,058 \text{ m}}}$$

$$W_{elD} = (q \times B \times I_1 \times I_{24})/E_{uD} = (48 \times 18 \times 0,94 \times 0,28)/4325 = \underline{\underline{0,052 \text{ m}}}$$

$$W_{elE} = (q \times B \times I_1 \times I_{25})/E_{uE} = (48 \times 18 \times 0,94 \times 0,61)/5450 = \underline{\underline{0,09 \text{ m}}}$$

Somma dei W_{eli} di ogni sottostrato:

$$\underline{\underline{W_{el \text{ tot}} = 0,068 + 0,059 + 0,058 + 0,052 + 0,09 = 0,301 \text{ m} = W_{el \text{ tot argilla}}}}$$

2.1.3 1 Calcolo del cedimento elastico con NUANS

Caso 1: Modulo elastico variabile con la profondità.

Utilizzando lo strumento di calcolo "LABORATORIO" calcoliamo il cedimento elastico:

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):

Spessore	Descrizione	Colore	Campitura	Grana	g Natur...	g Satur...	phi (°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu
4.00	Ripoto	Red	Horizontal	Fine	20.5000	20.5000	28.000000	2.000000	0.000000	3000.00
22.50	Argilla limosa	Blue	Vertical	Fine	18.8000	18.8000	28.000000	10.000000	0.000000	3200.00

(°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu	E'	Coef. m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
100000	2.000000	0.000000	3000.00	2000.00	0.00	1.00	0.0010	0.02	0.02	0	0.00
100000	10.000000	0.000000	3200.00	2800.00	250.00	1.00	0.7900	0.08	0.62	0	0.00

Impostazioni di calcolo:

Fondazioni

Angolo attrito fondazione (°): 30.0000

Angolo attrito palo (°): 30.0000

Coef. alfa per pali: 1.00000

Coef. K spinta orizz.: Kp

Profondità piano di posa: 4.00000

Viscosità

Tempo in anni: 30.0000

Falda

Profondità falda (positiva): 4.00000

Rappresentazione

Spost. max. di confronto: 0.000000

Metodi

Teoria resistenza: Hansen

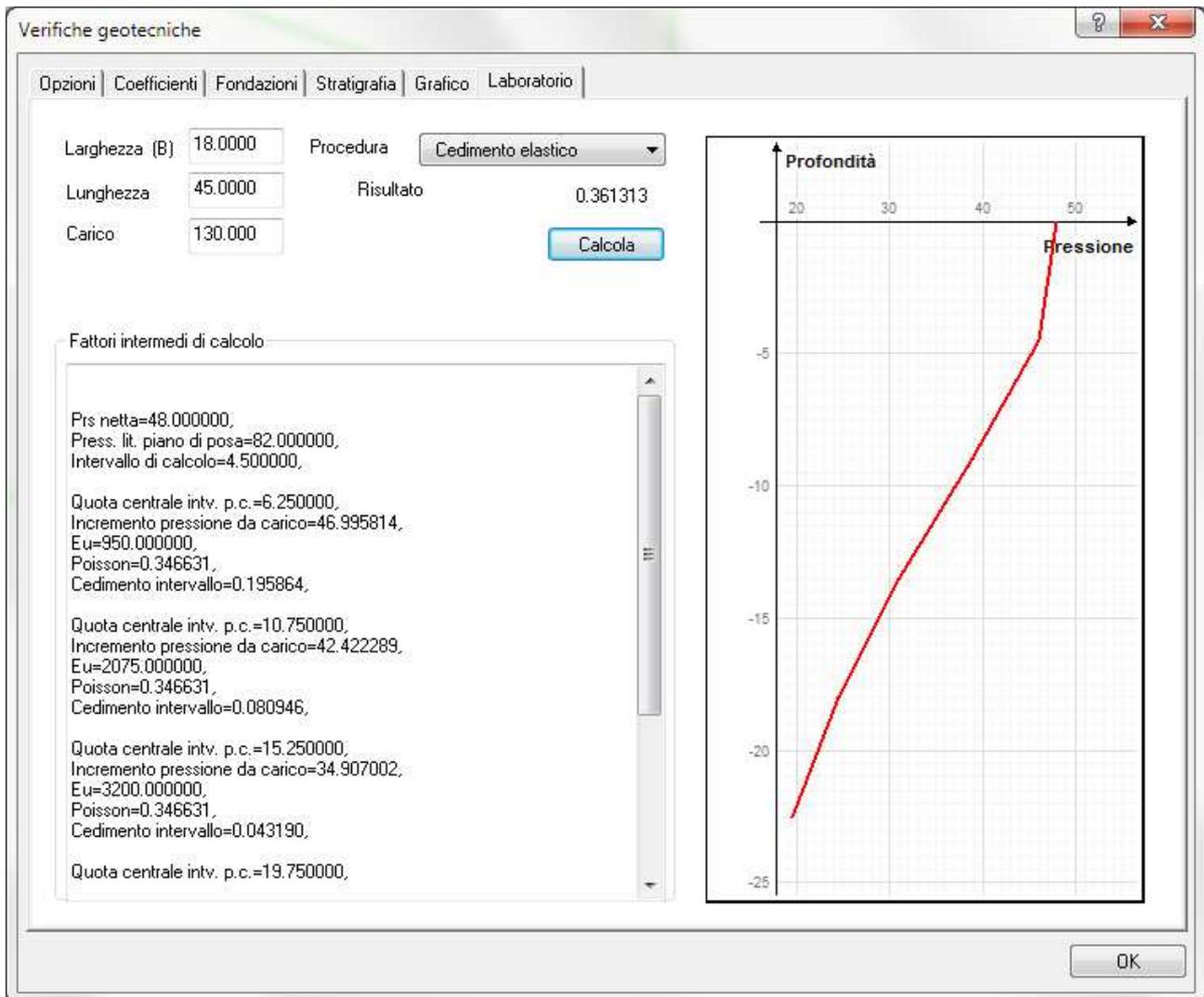
Teoria cinematica: Nessuno

Terreni grana grossa: Schmertmann

Semispazio elastico: Boussinesq

Punzonamento considerato in portanza

Risultati:



NUANS restituisce un cedimento elastico pari a:

Valore calcolato dal programma = Wel tot = 0,36 m

Il Valore calcolato manualmente è pari a = Wel tot = 0,301 m

La differenza tra i due risultati ottenuti, è dovuta alla lieve differenza tra il metodo di calcolo implementato nel programma e quello utilizzato per il calcolo manuale che peraltro avvalendosi di parametri determinati per via grafica risulta approssimato.

La differenza riscontrata è del 15% circa, che si considera totalmente accettabile.

In questo caso I parametri di calcolo intermedi restituiti dal programma sono il modulo elastico Eu calcolato alle varie quote dello strato di argilla che corrisponde perfettamente con I valori del calcolo manuale, gli altri parametri non sono confrontabili per le differenze del metodo di calcolo.

2.1.4 Calcolo del cedimento elastico (Metodo 2)

- Calcolo del cedimento elastico nello strato di argilla:

Cedimenti immediati:

Cedimento elastico:

$$W = [q \times B (1-\nu^2) \times I_w] / E_u$$

B base del carico

Eu modulo elastico in condizioni non drenate

con il secondo metodo di calcolo verrà considerato il modulo elastico costante con la profondità,

ν = Coefficiente di poisson

$$I_w = \text{fattore di influenza} = 1/\pi \times (L/B \times \ln \{ [1 + ((L/B)^2 + 1)^{0.5}] / L/B \} + \ln \{ [L/B + ((L/B)^2 + 1)^{0.5}] \})$$

andiamo a calcolare il fattore I_w

$$I_w = 1/3,14 \times (45/18 \times \ln \{ [1 + ((45/18)^2 + 1)^{0.5}] / (45/18) \} + \ln \{ [45/18 + ((45/18)^2 + 1)^{0.5}] \}) = 0,31 \times (2,5 \times 0,39 + 1,64) = 0,31 \times (2,615) = \underline{\underline{0,81 = I_w}}$$

Calcolo del cedimento con E_u costante (ossia ponendo il coeff. $m = 0$)

$$W = [(48 \times 18 \times (1 - 0,3^2) \times 0,81) / 3200] = \underline{\underline{0,19 \text{ m} = W_{el}}}$$

2.1.5 2 Calcolo del cedimento elastico con NUANS

Caso 1: Modulo elastico costante con la profondità.

Utilizzando lo strumento di calcolo “LABORATORIO” calcoliamo il cedimento elastico:

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):

The left screenshot shows the 'Stratigrafia' tab with the following data:

Spessore	Descrizione	Colore	Campitura	Grana	g Natur...	g Saturato	phi [°]	Coes. cu	Coes. c'	Eu
4.00	Ripoto	Red	Horizontal lines	Fine	20.5000	20.5000	28.000000	2.000000	0.000000	3000.00
22.50	Argilla limosa	Blue	Vertical lines	Fine	18.8000	18.8000	28.000000	10.000000	0.000000	3200.00

The right screenshot shows the 'Laboratorio' tab with the following data:

[°]	Coes. cu	Coes. c'	Eu	E'	Coef. m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
0.000000	2.000000	0.000000	3000.00	2000.00	0.00	1.00	0.0010	0.02	0.02	0	0.00
0.000000	10.000000	0.000000	3200.00	2800.00	0.00	1.00	0.7900	0.08	0.62	0	0.00

Impostazioni di calcolo:

The 'Fondazioni' section contains the following settings:

- Angolo attrito fondazione (°): 30.0000
- Angolo attrito palo (°): 30.0000
- Coef. alfa per pali: 1.00000
- Coef. K spinta orizz.: Kp
- Profondità piano di posa: 4.00000

The 'Viscosità' section contains:

- Tempo in anni: 30.0000

The 'Falda' section contains:

- Profondità falda (positiva): 4.00000

The 'Rappresentazione' section contains:

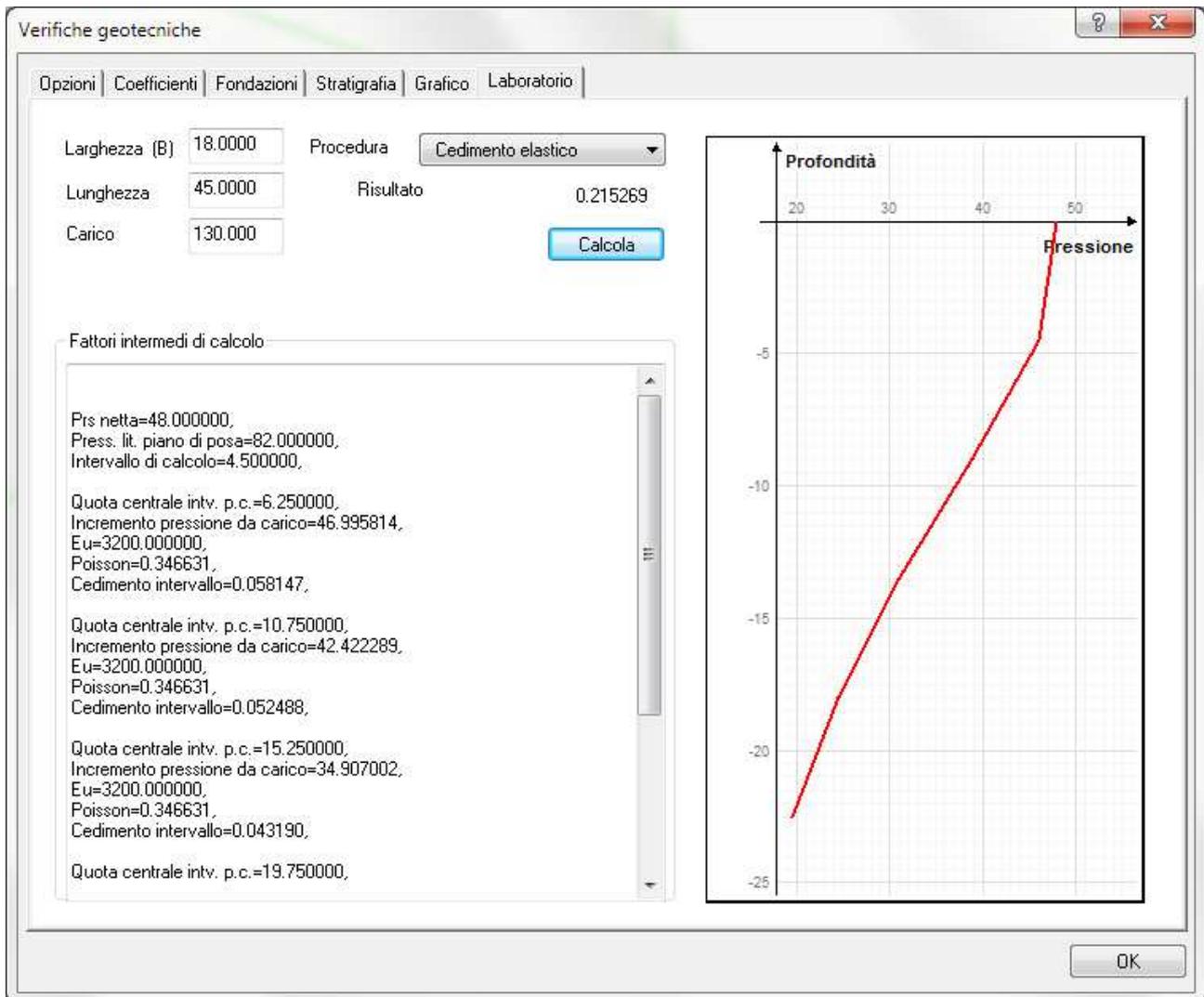
- Spost. max. di confronto: 0.000000

The 'Metodi' section contains the following dropdown menus:

- Teoria resistenza: Hansen
- Teoria cinematica: Nessuno
- Terreni grana grossa: Schmertmann
- Semispazio elastico: Boussinesq

There is also a checkbox for 'Punzonamento considerato in portanza' which is currently unchecked.

Risultati:



NUANS restituisce un cedimento elastico pari a:

Valore calcolato dal programma = $W_{el\ tot} = 0,21\ m$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $W_{el\ tot} = 0,19\ m$

La differenza tra i due risultati ottenuti, è dovuta alla lieve differenza tra il metodo di calcolo implementato nel programma e quello utilizzato per il calcolo manuale.

La differenza riscontrata è del 9% circa, che si considera totalmente accettabile.

2.1.6 Calcolo del cedimento edometrico

- Calcolo del cedimento edometrico nello strato di argilla:

Il cedimento con il Metodo Edometrico prevede l'applicazione della seguente relazione:

$$W_{ed} = \sum \left\{ \left[\frac{C_{(c,s)i}}{1 + e_i} \right] \times \log_{10} \left[\frac{\sigma'_i + \Delta\sigma_{zi}}{\sigma'_{oi}} \right] \times h_i \right\}$$

devono essere calcolate le tensioni litostatiche (totali ed efficaci) σ_o , σ'_o , le pressioni interstiziali dovute alla presenza della falda u , e gli incrementi di tensione dovuti all'applicazione del carico trasmesso dalla fondazione, $\Delta\sigma_{zi}$, e devono essere calcolati anche gli indici dei vuoti e_{oi} dei vari punti A,B,D,E, nel punto C non è necessario poiché è il punto di prelievo del campione.

Andiamo a calcolare la σ_{vo} e σ'_{vo} e le u nei vari punti

$$\sigma_{vr} = \text{tensione al piede dello strato di riporto} = \text{griporto} \times h_{rip} = 20,5 \times 4 = 82,0 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vA} = \sigma_{vr} + \gamma_{argilla} \times z_A = 82,0 + 18,8 \times 2,25 = 124,30 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vB} = \sigma_{vA} + \gamma_{argilla} \times z_B = 124,30 + 18,8 \times 4,5 = 208,90 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vC} = \sigma_{vB} + \gamma_{argilla} \times z_C = 208,90 + 18,8 \times 4,5 = 293,50 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vD} = \sigma_{vC} + \gamma_{argilla} \times z_D = 293,50 + 18,8 \times 14,5 = 378,10 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vE} = \sigma_{vD} + \gamma_{argilla} \times z_E = 378,10 + 18,8 \times 4,5 = 462,70 \text{ kN/mq}$$

Calcolo pressioni dell'acqua e tensioni efficaci

$$u_i = \gamma_w \times z_i \quad \rightarrow \quad \sigma'_i = \sigma_{vi} - u_i$$

$$u_A = 10 \times 2,25 = 22,5 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_A = 124,30 - 22,5 = 101,80 \text{ kN/mq}$$

$$u_B = 10 \times 6,75 = 67,50 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_B = 208,90 - 67,50 = 141,40 \text{ kN/mq}$$

$$u_C = 10 \times 11,25 = 112,5 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_C = 293,50 - 112,5 = 181,00 \text{ kN/mq}$$

$$u_D = 10 \times 15,75 = 157,50 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_D = 378,10 - 157,50 = 220,60 \text{ kN/mq}$$

$$u_E = 10 \times 20,25 = 202,50 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_E = 462,70 - 202,50 = 260,2 \text{ kN/mq}$$

ora essendo noto l'indice dei vuoti e_{oC} nel punto C, possiamo calcolarlo anche negli altri punti

$$e_{oi} = e_{oC} - C_c \times \log_{10} (\sigma'_{voi} / \sigma'_{voP})$$

$$e_{oA} = 0,79 - 0,62 \times \log_{10} (101,80 / 181,00) = 0,94$$

$$e_{oB} = 0,79 - 0,62 \times \log_{10} (141,40 / 181,00) = 0,85$$

$$e_{oD} = 0,79 - 0,62 \times \log_{10} (220,60 / 181,00) = 0,73$$

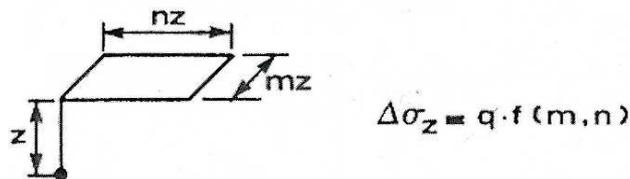
$$e_{oE} = 0,79 - 0,62 \times \log_{10} (260,20 / 181,00) = 0,69$$

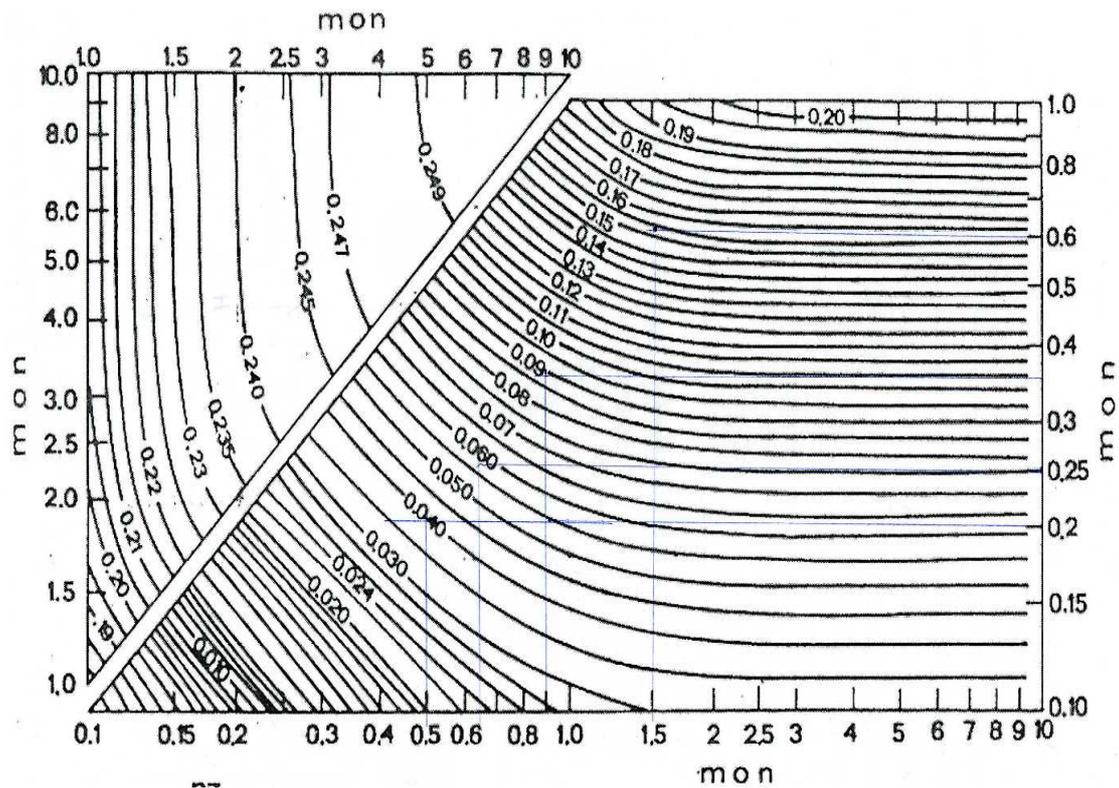
Calcoliamo ora l'incremento delle tensioni indotte dal carico q nei vari punti, si applica la seguente relazione:

$$\Delta\sigma_{zi} = q \times f(m,n)$$

f è funzione dei due rapporti $m = L/zi$ $n = B/zi$

i valori di f vengono letti sul seguente grafico, che fornisce il fattore di incremento delle tensione generato da un carico ad impronta rettangolare nel punto d'angolo (in tale condizione la funzione f non può avere un valore maggiore a 0.25 dato che anche per il terreno si assume valida la sovrapposizione degli effetti):





Calcolando il valore di m e di n per i vari punti otterremo il valore di f:

$$mA = 22,5/2,25 = 10$$

$$nA = 9/2,25 = 4$$

$$mB = 22,5/6,75 = 3,33$$

$$nB = 9/6,75 = 1,33$$

$$mC = 22,5/11,25 = 2,00$$

$$nC = 9/11,25 = 0,80$$

$$mD = 22,5/15,75 = 1,43$$

$$nD = 9/15,75 = 0,57$$

$$mE = 22,5/20,25 = 1,11$$

$$nE = 9/20,25 = 0,44$$

Riportiamo i valori di f letti dal grafico per i vari punti:

$$fA = 0,248$$

$$fB = 0,225$$

$$fC = 0,205$$

$$fD = 0,19$$

$$fE = 0,17$$

Calcoliamo quindi l'incremento di tensione indotto dal carico q, e considerando che la funzione f è stata determinata sul grafico che fornisce il fattore di incremento delle tensione generato da un carico ad impronta rettangolare nel punto d'angolo, dato che noi stiamo valutando l'incremento per il punto centrale all'impronta di carico, dobbiamo moltiplicare per un fattore 4.0 gli incrementi di tensione $\Delta\sigma_{zi} = q \times f(m,n)$

$$\Delta\sigma_zA = 48 \times 0,249 \times 4,0 = \mathbf{47,60 \text{ kN/mq}}$$

$$\Delta\sigma_zB = 48 \times 0,245 \times 4,0 = \mathbf{43,20 \text{ kN/mq}}$$

$$\Delta\sigma_zC = 48 \times 0,215 \times 4,0 = \mathbf{39,36 \text{ kN/mq}}$$

$$\Delta\sigma_zD = 48 \times 0,21 \times 4,0 = \mathbf{36,48 \text{ kN/mq}}$$

$$\Delta\sigma_zE = 48 \times 0,205 \times 4,0 = \mathbf{32,64 \text{ kN/mq}}$$

Calcolo i cedimenti edometrici nei vari punti

$$W_{edi} = \left\{ \left[\frac{C_{(c,s)i}}{1 + e_i} \right] \times \log_{10} \left[\frac{\sigma'_i + \Delta\sigma_{zi}}{\sigma'_i} \right] \times h_i \right\}$$

$$W_{edA} = [0,62/(1+0,94)] \times \log_{10} [(101,80+47,60)/101,80] \times 4,5 = \mathbf{0,23 \text{ m}}$$

$$W_{edB} = [0,62/(1+0,85)] \times \log_{10} [(141,40+43,20)/141,40] \times 4,5 = \mathbf{0,17 \text{ m}}$$

$$W_{edC} = [0,62/(1+0,79)] \times \log_{10} [(181,00+39,36)/181,00] \times 4,5 = \mathbf{0,13 \text{ m}}$$

$$W_{edD} = [0,62/(1+0,73)] \times \log_{10} [(220,60+36,48)/220,60] \times 4,5 = \mathbf{0,11 \text{ m}}$$

$$W_{edE} = [0,62/(1+0,69)] \times \log_{10} [(260,20+32,36)/260,20] \times 4,5 = \mathbf{0,08 \text{ m}}$$

$$W_{ed \text{ tot}} = \sum W_{edi} = 0,23 + 0,17 + 0,13 + 0,11 + 0,08 = \mathbf{0,72 \text{ m} = W_{ed \text{ tot}}}$$

Tabella riepilogativa dei parametri di calcolo:

Punti	Quota rispetto a P.F. (m)	Coeff. I1	Coeff. I2	Eu (KpA)	Σv (KpA)	u (KpA)	$\Sigma'v$ (KpA)	eo	m	n	f(m,n)	$\Delta\sigma_v$ (KpA)
A	2,25	0,94	0,05	950,0	124,30	22,5	101,80	0,94	10	4	0,25	47,6
B	6,75	0,94	0,15	2075,0	208,90	67,50	141,40	0,85	3,33	1,33	0,23	43,2
C	11,25	0,94	0,23	3200,0	293,50	112,5	181,0	0,79	2	0,8	0,21	39,36
D	15,75	0,94	0,28	4325,0	378,10	157,5	220,60	0,73	1,43	0,57	0,19	36,48
E	20,25	0,94	0,61	5450,0	462,70	202,5	260,20	0,69	1,11	0,44	0,17	32,64

Tabella riepilogativa dei cedimenti calcolati:

Punti	W elastico Eu costant (m)	W elastico Eu crescente (m)	W edometrico (m)
A	-	0,042	0,2300
B	-	0,0590	0,1700
C	-	0,0580	0,1300
D	-	0,0520	0,1100
E	-	0,0900	0,0800
Totale	0,19	0,301	0,72

2.1.7 Calcolo del cedimento edometrico con NUANS

Utilizzando lo strumento di calcolo “LABORATORIO” calcoliamo il cedimento edometrico:

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):

The left screenshot shows the 'Stratigrafia' tab with the following data:

Spessore	Descrizione	Colore	Campitura	Grana	g Natur...	g Saturato	phi [°]	Coes. cu	Coes. c'	Eu
4.00	Riponto	Red	Horizontal	Fine	20.5000	20.5000	28.000000	2.000000	0.000000	3000.00
22.50	Argilla Imossa	Blue	Vertical	Fine	18.8000	18.8000	28.000000	10.000000	0.000000	3200.00

The right screenshot shows the 'Laboratorio' tab with the following data:

[°]	Coes. cu	Coes. c'	Eu	E'	Coef. m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
100000	2.000000	0.000000	3000.00	2000.00	0.00	1.00	0.0010	0.02	0.02	0	0.00
100000	10.000000	0.000000	3200.00	2800.00	250.00	1.00	0.7900	0.08	0.62	0	0.00

Impostazioni di calcolo:

The 'Fondazioni' section contains the following settings:

- Angolo attrito fondazione (°): 30.0000
- Angolo attrito palo (°): 30.0000
- Coef. alfa per pali: 1.00000
- Coef K spinta orizz.: Kp
- Profondità piano di posa: 4.00000

The 'Viscosità' section contains:

- Tempo in anni: 30.0000

The 'Falda' section contains:

- Profondità falda (positiva): 4.00000

The 'Rappresentazione' section contains:

- Spost. max. di confronto: 0.000000

The 'Metodi' section contains the following dropdown menus:

- Teoria resistenza: Hansen
- Teoria cinematica: Nessuno
- Terreni grana grossa: Schmertmann
- Semispazio elastico: Boussinesq

Punzonamento considerato in portanza

Risultati:

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area has input fields for "Larghezza (B)" (18), "Lunghezza" (45), and "Carico" (130). A "Procedura" dropdown menu is set to "Cedimento edometrico". The "Risultato" field displays "0.661955". A "Calcola" button is visible. Below the inputs is a scrollable box titled "Fattori intermedi di calcolo" containing three sets of data:

Quota centrale intv. p.c.	Press. litost. eff.	Incr. Press. da carico	Eu	e0	Pressione consolidamento	Cedimento totale
6.250000	102.235038	46.995814	950.000000	0.947025	102.235038	0.235376
10.750000	142.705112	42.422289	2075.000000	0.857225	142.705112	0.405176
15.250000	183.175188	34.907002	3200.000000	0.790000	183.175188	0.523250

An "OK" button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce un cedimento edometrico pari a:

Valore calcolato dal programma = $W_{el\ tot} = 0,66\ m$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $W_{el\ tot} = 0,72\ m$

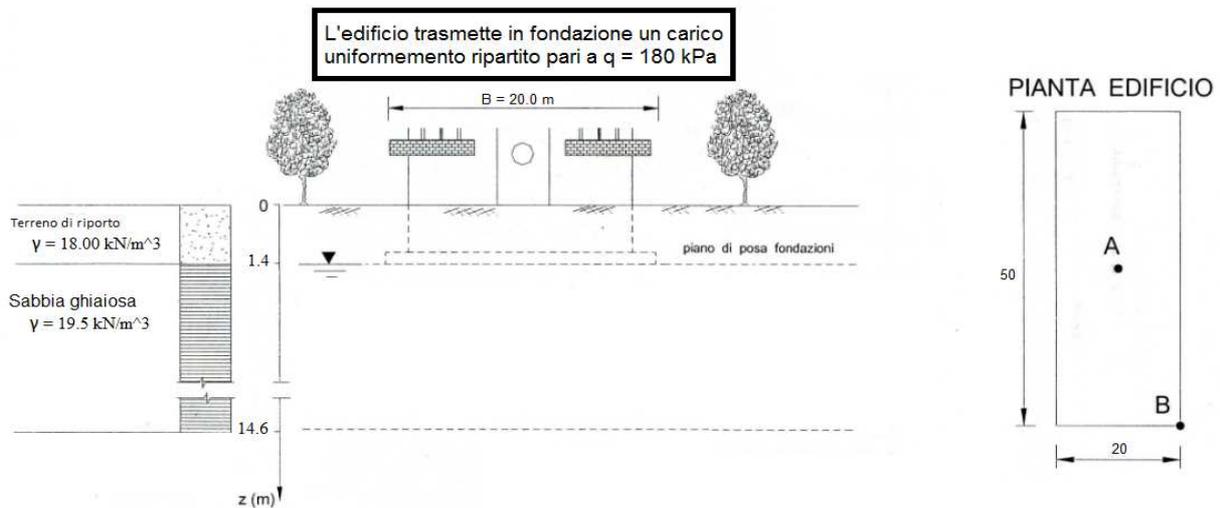
La differenza tra i due risultati ottenuti, è dovuta alla lieve differenza tra il metodo di calcolo implementato nel programma e quello utilizzato per il calcolo manuale che peraltro avvalendosi di parametri determinati per via grafica risulta approssimato.

La differenza riscontrata è del 9% circa, che si considera totalmente accettabile.

Eseguendo un controllo anche sui Fattori intermedi di calcolo, si riscontra anche una completa corrispondenza tra I valori calcolati dal programma e quelli calcolati manualmente.

3 CASO DI PROVA 2

3.1 Dati di progetto



Elenco dei Dati:

Profondità della falda: - 1,40 m

Strato 1: Terreno di riporto

Peso unità di volume = $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$

Strato 2: Sabbia ghiaiosa

Peso unità di volume = $\gamma = 19,5$

Angolo di attrito = $\varphi = 32^\circ$

Vengono riportati nella pagina successiva i risultati delle prove penetrometriche statiche, (CPT), verrà mostrata la prima tabella in cui sono presenti i valori di q_c per ogni avanzamento della punta, ed una seconda tabella dove si riporta una divisione in sottostrati eseguita per omogeneizzazione del valore medio di q_c , ottenuto alle varie quote.

Dati edificio:

Dimensione fondazione a platea: 20,0x50,0 m

Carico scaricato in fondazione = $q = 180 \text{ kPa}$

Quota di imposta della fondazione = -1,40 m

Risultati prova penetrometrica statica (CPT)

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)
0.20	44.0	0.0	44.1
0.40	30.0	64.0	30.1
0.60	43.0	112.0	43.1
0.80	63.0	118.0	63.1
1.00	48.0	71.0	48.1
1.20	13.0	65.0	13.5
1.40	16.0	45.0	16.3
1.60	19.0	38.0	19.3
1.80	24.0	47.0	24.3
2.00	37.0	60.0	37.3
2.20	40.0	81.0	40.4
2.40	38.0	78.0	38.4
2.60	22.0	64.0	22.4
2.80	17.0	41.0	17.4
3.00	16.0	62.0	16.4
3.20	21.0	36.0	21.6
3.40	24.0	39.0	24.6
3.60	24.0	43.0	24.6
3.80	28.0	51.0	28.6
4.00	33.0	59.0	33.6
4.20	34.0	63.0	34.7
4.40	31.0	61.0	31.7
4.60	28.0	64.0	28.7
4.80	22.0	46.0	22.7
5.00	20.0	38.0	20.7
5.20	25.0	41.0	25.8
5.40	27.0	46.0	27.8
5.60	25.0	47.0	25.8
5.80	21.0	40.0	21.8
6.00	21.0	39.0	21.8
6.20	21.0	32.0	21.0
6.40	21.0	38.0	22.0
6.60	21.0	35.0	22.0
6.80	19.0	41.0	20.0
7.00	41.0	54.0	43.0
7.20	48.0	63.0	49.1
7.40	42.0	52.0	43.1
7.60	29.0	55.0	30.1
7.80	75.0	90.0	76.1
8.00	34.0	62.0	35.1
8.20	56.0	75.0	57.2
8.40	26.0	51.0	27.2
8.60	15.0	49.0	16.2
8.80	19.0	30.0	20.2
9.00	19.0	30.0	20.2
9.20	15.0	27.0	16.4
9.40	17.0	22.0	18.4
9.60	31.0	64.0	32.4
9.80	26.0	33.0	27.4
10.00	22.0	30.0	23.4
10.20	15.0	26.0	16.5
10.40	16.0	29.0	17.5
10.60	15.0	26.0	16.5
10.80	16.0	29.0	17.5
11.00	16.0	30.0	17.5
11.20	19.0	31.0	20.7
11.40	16.0	29.0	17.7
11.60	13.0	25.0	14.7
11.80	15.0	26.0	16.7
12.00	18.0	29.0	19.7
12.20	28.0	34.0	27.8
12.40	19.0	45.0	20.8
12.60	16.0	30.0	17.8
12.80	15.0	29.0	16.8
13.00	16.0	30.0	17.8
13.20	20.0	34.0	21.9
13.40	17.0	32.0	18.9
13.60	16.0	31.0	17.9
13.80	19.0	36.0	20.9
14.00	20.0	38.0	21.9
14.20	17.0	35.0	19.1
14.40	16.0	36.0	18.1
14.60	18.0	35.0	20.1

Divisione per sottostrati omogenei:

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)
1.00	46.1
1.40	15.8
6.80	25.8
8.20	47.5
9.40	19.8
10.00	34.4
13.00	18.4
14.60	19.9

Considerando che il P.F. è -1,40 m, nel calcolo dobbiamo considerare i seguenti sottostrati:

Sottostrato 1) → $\Delta z_1 = 5,40 \text{ m}$ $q_c = 2580,0 \text{ kPa}$

Sottostrato 2) → $\Delta z_2 = 1,40 \text{ m}$ $q_c = 4750,0 \text{ kPa}$

Sottostrato 3) → $\Delta z_3 = 1,20 \text{ m}$ $q_c = 1980,0 \text{ kPa}$

Sottostrato 4) → $\Delta z_4 = 0,60 \text{ m}$ $q_c = 3440,0 \text{ kPa}$

Sottostrato 5) → $\Delta z_5 = 3,00 \text{ m}$ $q_c = 1840,0 \text{ kPa}$

Sottostrato 6) → $\Delta z_6 = 1,60 \text{ m}$ $q_c = 1990,0 \text{ kPa}$

3.1.1 Calcolo tensione effettiva trasmessa dalla fondazione

Dato che l'edificio sarà fondato a quota - 1.40 m dal piano campagna, verrà calcolato il carico effettivo da considerare per il calcolo dei cedimenti, dato che lo sbancamento del terreno di riporto per un'altezza di 1,40 m costituisce uno scarico, per il terreno, pertanto il carico effettivo da considerare è pari al carico trasmesso dall'edificio meno il peso del terreno sbancato.

- **Calcolo della differenza effettiva (delta sigma) del carico che si trasmette al piano di fondazione:**

$$q \text{ terreno sbancato} = \gamma_{\text{riporto}} \times h_{\text{scavo}} = 18,0 \times 1,40 = 25,20 \text{ kN/mq}$$

$$P = q_{\text{edif}} - q \text{ terreno sbancato} = 180,0 - 25,20 = \mathbf{154,80 \text{ kN/mq} = P}$$

Questo è il carico effettivo che sarà considerato nel calcolo.

3.1.2 Calcolo del cedimento (Schmertmann)

- Calcolo del cedimento con il metodo di Schmertmann:

Il cedimento con il Metodo di Schmertmann prevede l'applicazione della seguente relazione:

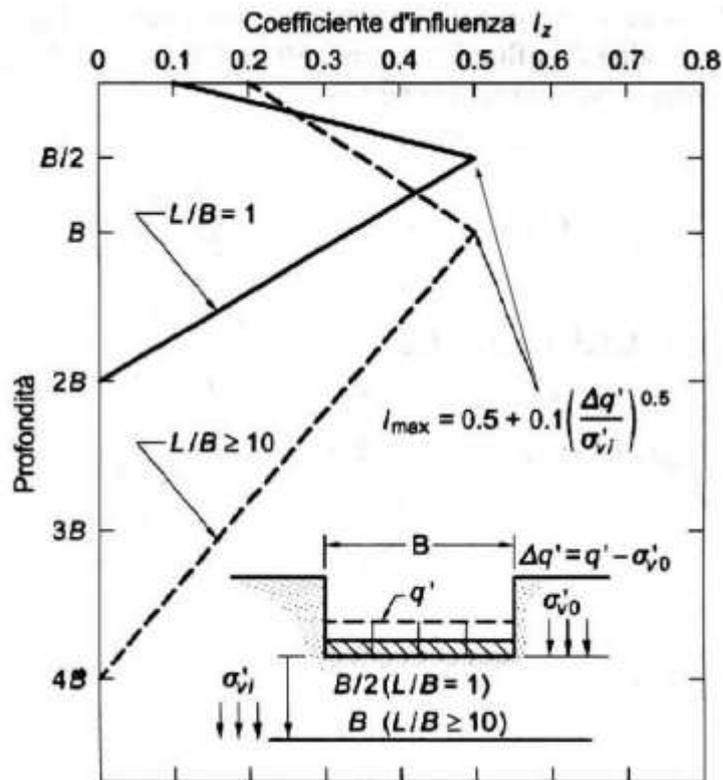
$$W = (C1 \times C2) \times \left\{ P \times \sum \left[\frac{I_z \times \Delta z_i}{E'} \right] \right\}$$

i fattori C1 e C2 sono due fattori che dipendono dall'affondamento rispetto al piano di fondazione e dal tempo, le relazioni per calcolarli sono le seguenti:

$$C1 = 1 - 0,5 \times (\sigma_{vo}'/P) \geq 0,50$$

$$C2 = 1 + 0,2 \times \log (t/0,1) \quad \text{ove } t \text{ è il tempo espresso in anni}$$

I_z è il coefficiente di influenza. Esso varia con la geometria della fondazione (L/B), con la pressione applicata (P) e con l'approfondimento relativo della fondazione (e quindi con la tensione verticale efficace agente σ'_{vo}), secondo il diagramma che segue:



Il modulo di deformazione E' deriva dalle prove CPT e per esso si può assumere:

$E' = 2,5 q_c$ per fondazioni quadrate o circolari

$E' = 3,5 q_c$ per fondazioni nastriformi.

Andiamo quindi a calcolare I vari parametri nei punti medi dei sottostrati definiti prima:

$$\text{Sottostrato 1) Punto medio A} \rightarrow z_A = 2,70 \text{ m}$$

$$\text{Sottostrato 2) Punto medio B} \rightarrow z_B = 6,10 \text{ m}$$

$$\text{Sottostrato 3) Punto medio C} \rightarrow z_C = 7,40 \text{ m}$$

$$\text{Sottostrato 4) Punto medio D} \rightarrow z_D = 8,30 \text{ m}$$

$$\text{Sottostrato 5) Punto medio E} \rightarrow z_E = 10,1 \text{ m}$$

$$\text{Sottostrato 6) Punto medio F} \rightarrow z_F = 12,40 \text{ m}$$

Andiamo a calcolare la σ_{vo} e σ'_{vo} e le u nei vari punti

$$\sigma_v r = \text{tensione al piede dello strato di riporto} = \text{griporto} \times h \text{ rip} = 18,0 \times 1,4 = 25,20 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vA} = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_A = 25,2 + 19,5 \times 2,70 = 77,85 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vB} = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_B = 25,2 + 19,5 \times 6,10 = 144,15 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vC} = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_C = 25,2 + 19,5 \times 7,4 = 169,50 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vD} = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_D = 25,2 + 19,5 \times 8,40 = 189,00 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vE} = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_E = 25,2 + 19,5 \times 10,1 = 222,15 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_{vF} = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_F = 25,2 + 19,5 \times 12,40 = 267,00 \text{ kN/mq}$$

Calcolo pressioni dell'acqua e tensioni efficaci

$$u_i = \gamma_w \times z_i \quad \rightarrow \quad \sigma'_i = \sigma_{vi} - u_i$$

$$u_A = 10 \times 2,70 = 27,0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_A = 77,85 - 27,0 = 50,85 \text{ kN/mq}$$

$$u_B = 10 \times 6,10 = 61,0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_B = 144,15 - 61,0 = 83,15 \text{ kN/mq}$$

$$u_C = 10 \times 7,40 = 74,0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_C = 169,50 - 74,0 = 95,5 \text{ kN/mq}$$

$$u_D = 10 \times 8,40 = 84,0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_D = 189,0 - 84,0 = 105,00 \text{ kN/mq}$$

$$u_E = 10 \times 10,1 = 101,0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_E = 222,15 - 101,0 = 121,15 \text{ kN/mq}$$

$$u_F = 10 \times 12,40 = 124,0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_F = 267,0 - 124,0 = 143,00 \text{ kN/mq}$$

- Procediamo ora calcolando il coefficiente C_1

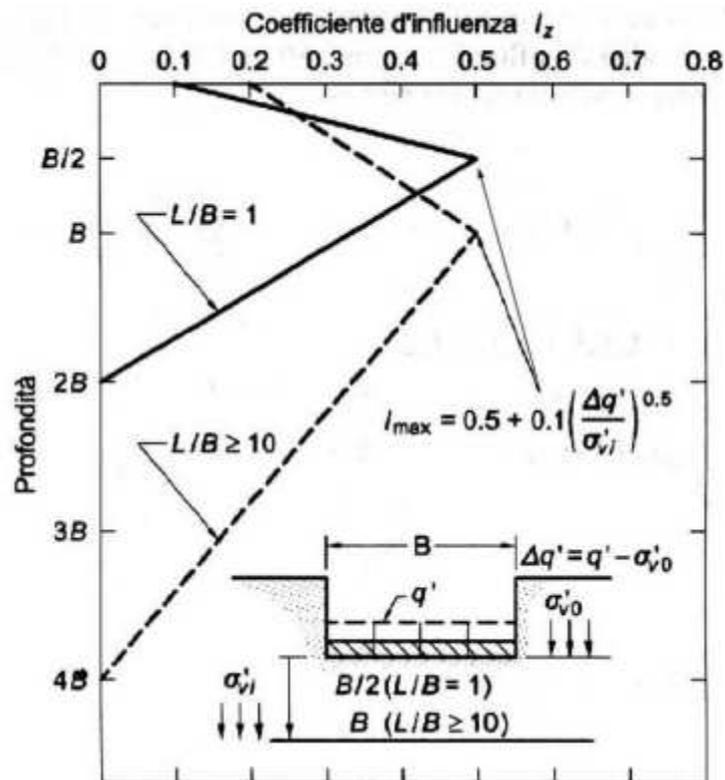
Coefficiente $C_1 = 1 - 0,5 \times (\sigma'_{vr}/P) \geq 0,50$

$$C_1 = 1 - 0,5 \times (25,20/154,80) = 0,92$$

- Calcoliamo il coefficiente C_2 per un periodo corrispondente a 30 anni:

$$C_2 = 1 + 0,2 \times \log(30/0,1) = 1,49 = C_2$$

- Procediamo ora al calcolo degli I_{zi} per i vari punti



Per calcolare i valori di I_{zi} utilizzeremo il seguente grafico:

Nel nostro caso $L/B = 50/20 = 2,5$ pertanto possiamo riferirci alla spezzata $L/B = 1$.

σ'_{vi} = Tensione litostatica calcolata alla profondità di $B/2$ per $L/B = 1$, o alla profondità di B per $L/B > 10$, nel nostro caso $L/B = 2,5$, quindi assumeremo il valore calcolato per il punto E che si trova poco più in profondità di $B/2$:

$$\text{Calcoliamo } I_{max} = 0,5 + 0,1 \times (P/\sigma'_{vE})^{0,5} = 0,5 + 0,1 \times (154,80/121,15)^{0,5} = 0,61 = I_{max}$$

Alla quota del piano di fondazione $I_z = 0,1$, mentre alla quota $B/2 = 10,0 \text{ m} \rightarrow I_z = 0,61$,

mentre alla quota $2B = 20,0 \text{ m} \rightarrow I_z = 0$

Per i punti A,B,C,D, tramite interpolazione lineare calcoleremo i valori di Izi:

$$IzA = \{[(0,61 - 0,1) \times 2,70]/10\} + 0,1 = \mathbf{0,24}$$

$$IzB = \{[(0,61 - 0,1) \times 6,10]/10\} + 0,1 = \mathbf{0,41}$$

$$IzC = \{[(0,61 - 0,1) \times 7,40]/10\} + 0,1 = \mathbf{0,47}$$

$$IzD = \{[(0,61 - 0,1) \times 8,30]/10\} + 0,1 = \mathbf{0,52}$$

Per i punti A,B,C,D, tramite proporzioni calcoleremo i valori di Izi:

$$IzE = [0,61 \times (20-10,1)]/(20-10) = \mathbf{0,60}$$

$$IZF = [0,61 \times (20-12,4)]/(20-10) = \mathbf{0,46}$$

- Procediamo ora al calcolo dei vari moduli E'i dei vari strati:

Il modulo di deformazione E' deriva dalle prove CPT e per esso si può assumere:

$$E' = 2.5 \text{ qc} \quad \text{per fondazioni quadrate o circolari}$$

$$E' = 3.5 \text{ qc} \quad \text{per fondazioni nastriformi.}$$

Nel nostro caso siamo in un caso intermedio tra fondazione quadrata e nastriforme pertanto assumeremo $E' = 3,0 \text{ qc}$:

$$E'1 = 3,0 \times 2580 = \mathbf{7740,00 \text{ kPa}}$$

$$E'2 = 3,0 \times 4750 = \mathbf{14250,00 \text{ kPa}}$$

$$E'3 = 3,0 \times 1980 = \mathbf{5940,00 \text{ kPa}}$$

$$E'4 = 3,0 \times 3440 = \mathbf{10320,00 \text{ kPa}}$$

$$E'5 = 3,0 \times 1840 = \mathbf{5520,00 \text{ kPa}}$$

$$E'6 = 3,0 \times 1990 = \mathbf{5970,00 \text{ kPa}}$$

Procediamo al calcolo del cedimento per tutti i sottostrati:

$$W = (C1 \times C2) \times \{ P \times \sum [(Iz \times \Delta zi)/E'] \}$$

$$W1 = (0,92 \times 1,49) \times \{ 154,80 \times [((0,24 \times 5,40)/7740) + ((0,41 \times 1,40)/14250) + ((0,47 \times 1,20)/5940) +$$

$$+ ((0,52 \times 0,60)/10320) + ((0,60 \times 3,0)/5520) + ((0,46 \times 1,60)/5970)] \} = (1,37) \times 154,80 \times (0,000167 + 0,000040 +$$

$$+ 0,0000949 + 0,0000302 + 0,000326) = (1,37) \times 154,80 \times 0,0006581 = \mathbf{0,139 \text{ m} = W = \text{Cedimento dopo 30 anni}}$$

3.1.3 Calcolo del cedimento Metodo di Schmertmann

Utilizzando lo strumento di calcolo “LABORATORIO” calcoliamo il cedimento col metodo di Schmertmann:

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):

Spessore	Descrizione	Colore	Camptura	Grana	g Natur.	g Satur.	phi (°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu
1.40	Riparto	[Red]	[Pattern]	Fine	18.0000	18.0000	30.000000	9.806650	0.000000	0.00
5.40	Sabbia ghiaiosa	[White]	[Pattern]	Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	0.00
1.40	Sabbia ghiaiosa	[Cyan]	[Pattern]	Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	0.00
1.20	Sabbia ghiaiosa	[Green]	[Pattern]	Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	0.00
0.60	Sabbia ghiaiosa	[Yellow]	[Pattern]	Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	0.00
3.00	Sabbia ghiaiosa	[Blue]	[Pattern]	Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	0.00
1.60	Sabbia ghiaiosa	[Red]	[Pattern]	Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	0.00

[°]	Coes cu	Coes c'	Eu	E'	Coeff m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
300000	9.806650	0.000000	0.00	0.18	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	0.00
300000	9.806650	0.000000	0.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	2580.00
300000	9.806650	0.000000	0.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	4750.00
300000	9.806650	0.000000	0.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	1980.00
300000	9.806650	0.000000	0.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	3440.00
300000	9.806650	0.000000	0.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	1840.00
300000	9.806650	0.000000	0.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	1990.00

Impostazioni di calcolo:

Fondazioni

Angolo attrito fondazione (°): 30.0000

Angolo attrito palo (°): 30.0000

Coeff. alfa per pali: 1.00000

Coeff K spinta orizz.: Kp

Profondità piano di posa: 1.40000

Viscosità

Tempo in anni: 30.0000

Falda

Profondità falda (positiva): 1.40000

Rappresentazione

Spost. max. di confronto: 0.000000

Metodi

Teoria resistenza: Brinch-Hansen

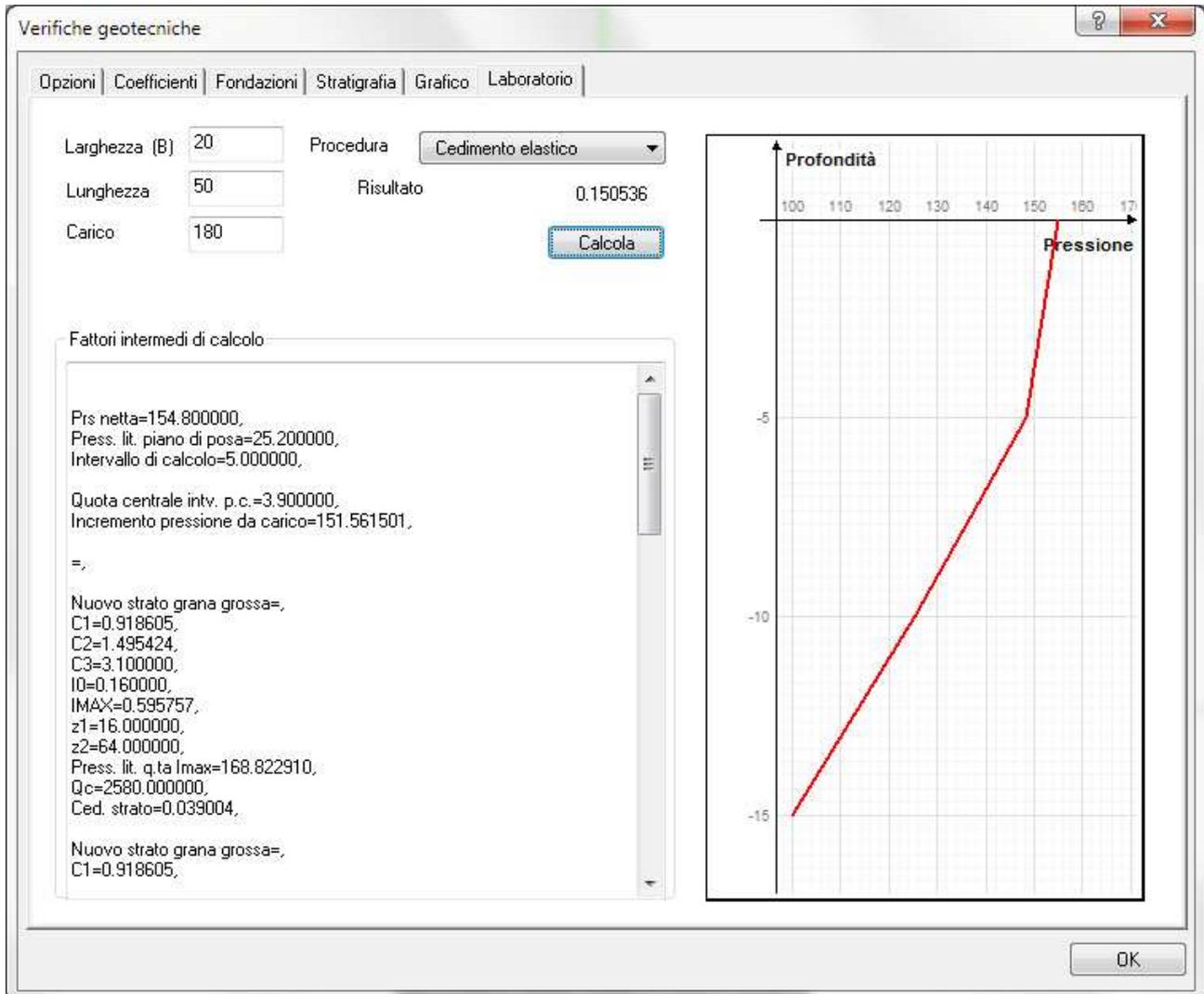
Teoria cinematica: Nessuno

Terreni grana grossa: Schmertmann

Semispazio elastico: Boussinesq

Punzonamento considerato in portanza

Risultati:



NUANS restituisce un cedimento con il metodo di Schmertmann pari a:

Valore calcolato dal programma = $W_{el\ tot} = 0,15\ m$

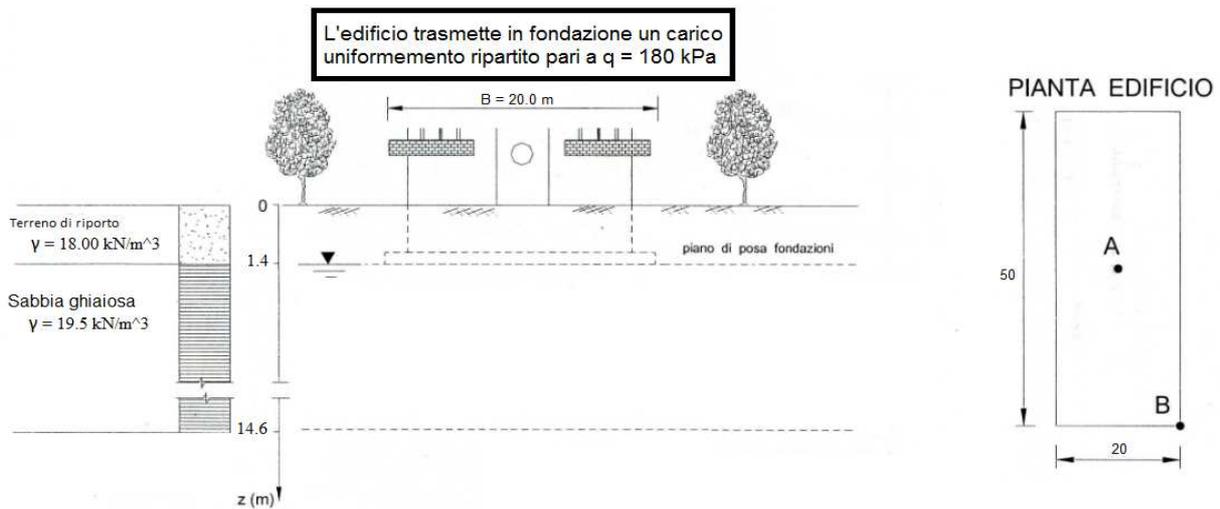
Il Valore calcolato manualmente è pari a = $W_{el\ tot} = 0,139\ m$

La differenza tra i due risultati ottenuti, è dovuta alla lieve differenza tra il metodo di calcolo implementato nel programma e quello utilizzato per il calcolo manuale che peraltro avvalendosi di parametri determinati per via grafica risulta approssimato.

La differenza riscontrata è del 7% circa, che si considera totalmente accettabile.

Eseguendo un controllo anche sui Fattori intermedi di calcolo, si riscontra anche una completa corrispondenza tra I valori calcolati dal programma e quelli calcolati manualmente.

4 CASO DI PROVA 3



4.1 Dati di progetto

Elenco dei Dati:

Profondità della falda: - 1,40 m

Strato 1: Terreno di riporto

Peso unità di volume = $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$

Strato 2: Sabbia ghiaiosa

Peso unità di volume = $\gamma = 19,5$

Angolo di attrito = $\varphi = 32^\circ$

Vengono riportati nella pagina successiva i risultati delle prove penetrometriche dinamiche, (SPT), verrà mostrata una tabella in cui sono riportati i valori di N_{spt} .

Dati edificio:

Dimensione fondazione a platea: 20,0x50,0 m

Carico scaricato in fondazione = $q = 180 \text{ kPa}$

Quota di imposta della fondazione = -1,40 m

Risultati N_{spt}

Profondità	N medio
3,00	15
6,50	11
10,20	21
12,60	14

4.1.1 Calcolo tensione effettiva trasmessa dalla fondazione

Dato che l'edificio sarà fondato a quota - 1.40 m dal piano campagna, verrà calcolato il carico effettivo da considerare per il calcolo dei cedimenti, dato che lo sbancamento del terreno di riporto per un'altezza di 1,40 m costituisce uno scarico, per il terreno, pertanto il carico effettivo da considerare è pari al carico trasmesso dall'edificio meno il peso del terreno sbancato.

- Calcolo della differenza effettiva (delta sigma) del carico che si trasmette al piano di fondazione:

$$q \text{ terreno sbancato} = \gamma_{\text{riporto}} \times h_{\text{scavo}} = 18,0 \times 1,40 = 25,20 \text{ kN/mq}$$

$$P = q_{\text{edif}} - q \text{ terreno sbancato} = 180,0 - 25,20 = \mathbf{154,80 \text{ kN/mq} = P}$$

Questo è il carico effettivo che sarà considerato nel calcolo.

4.1.2 Calcolo del cedimento (Burland-Burbridge)

- Calcolo del cedimento con il metodo di Burland-Burbridge:

Tale metodo prevede il calcolo del cedimento istantaneo per terreni a grana grossa attraverso la seguente relazione:

$$\text{Per terreni normalmente consolidati} \quad W_i = f_s \times f_l \times P \times B^{0.7} \times I_c \quad (A)$$

$$\text{Per terreni sovra-consolidati ove } P < \sigma'_{vo} \quad W_i = f_s \times f_l \times P \times B^{0.7} \times I_c/3 \quad (B)$$

$$\text{Per terreni sovra-consolidati ove } P > \sigma'_{vo} \quad W_i = f_s \times f_l \times [P - (2/3 \times \sigma'_{vo})] \times B^{0.7} \times I_c \quad (C)$$

Le relazioni per terreni sovra-consolidati sono assunte considerando che la compressibilità del terreno a grana grossa sovraconsolidato, per varie cause, (erosione, sbancamenti, ecc.) sia pari a circa 1/3 della compressibilità di un terreno normalmente consolidato, ma dato che non sempre è possibile determinare se un terreno a grana grossa è sovraconsolidato o meno, raramente si tiene conto della (B) e della ©, ed al limite si tengono conto solo nel caso in cui si abbia un rilevante sbancamento per raggiungere il piano di fondazione (>3,00 m dal piano campagna).

Eseguiamo il calcolo prima operando solo con la relazione (A), e poi operando con la relazione (B) e (C).

Gli altri parametri presenti nelle relazioni hanno il seguente significato:

- **f_s** è un fattore di forma dato dalla presente espressione:

$$f_s = \{ [1,25 \times (L/B)] / [(L/B) + 0,25] \}^2$$

- **f_l** è un fattore di spessore dato dalla presente espressione:

$$f_l = (H_s/Z_1) \times [2 - (H_s/Z_1)]$$

ove

H_s = spessore del sottostrato a grana grossa espresso in m

Z₁ = B^{0,763} è la profondità di influenza

se H_s > Z₁ si assume f_l = 1.0

- **P** è il carico trasmesso dalla fondazione che va espresso in kPa

- **I_c** è un indice di compressibilità funzione del valore medio del numero di colpi N ottenuti nella SPT (N_{spt})

$$I_c = 1,71/\underline{N}^{1.4}$$

- B è l'impronta del carico che va espressa in m

Nelle relazioni sopra il cedimento che si otterrà sarà espresso in mm

Per tenere conto degli effetti viscosi del terreno tale metodo propone l'amplificazione del cedimento istantaneo con un fattore correttivo:

$$W = W_i \times f_t$$

$$f_t = 1 + R_3 + R_t \times \log_{10}(t/3)$$

t è il tempo espresso in anni

R₃ ed R_t sono coefficienti che dipendono dalla tipologia di carico secondo la seguente tabella:

<i>Condizioni di carico</i>	R_s	R_t
Carichi statici	0,3	0,2
Carichi ciclici	0,7	0,8

Per calcolare il cedimento divideremo lo strato di sabbia in sottostrati omogenei considerando uno spessore dei sottostrati determinato dai risultati ottenuti nella prova penetrometrica:

Considerando che il P.F. è -1,40 m, e che lo strato di sabbia finisce alla profondità di 14.60 m abbiamo:

Sottostrato	h sottostrato	Quota di affondamento del punto medio del sottostrato rispetto al P.C.	Quota di affondamento del punto medio del sottostrato rispetto al P.F.	N medio
1	3,35	zA = 3,075	ZA1 = 1,675	15
2	3,6	zB = 6,55	ZB1 = 5,15	11
3	2,85	zC = 9,775	ZC1 = 8,355	21
4	3,40	zD = 11,50	ZD1 = 10,10	14

Andiamo a calcolare la σ_v e σ'_{vo} e le u nei vari punti

$$\sigma_v r = \text{tensione al piede dello strato di riporto} = \text{griporto} \times h \text{ rip} = 18,0 \times 1,4 = 25,20 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_v A = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_A = 25,2 + 19,5 \times 3,075 = 85,16 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_v B = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_B = 25,2 + 19,5 \times 6,55 = 152,92 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_v C = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_C = 25,2 + 19,5 \times 9,775 = 215,81 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_v D = \sigma_v r + \gamma_{\text{sabbia}} \times z_D = 25,2 + 19,5 \times 11,50 = 249,45 \text{ kN/mq}$$

Calcolo pressioni dell'acqua e tensioni efficaci

$$u_i = \gamma_w \times z_i \quad \rightarrow \quad \sigma'_i = \sigma_{vi} - u_i$$

$$u_A = 10 \times 3,075 = 30,75 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_A = 85,16 - 30,75 = 54,41 \text{ kN/mq}$$

$$u_B = 10 \times 6,55 = 65,50 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_B = 152,92 - 65,50 = 87,42 \text{ kN/mq}$$

$$u_C = 10 \times 9,775 = 97,75 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_C = 215,81 - 97,75 = 118,06 \text{ kN/mq}$$

$$u_D = 10 \times 11,50 = 115,00 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_D = 249,45 - 115,00 = 134,45 \text{ kN/mq}$$

Calcolo del cedimento per terreni normalmente consolidati

$$W = f_s \times f_1 \times P \times B^{0.7} \times I_c \quad (A)$$

Calcoliamo i vari parametri

- **f_s**

$$f_s = \{ [1,25 \times (50/20) / [(50/20) + 0,25]]^2 = 1,29 = f_s$$

- **f₁**

$$H_{s1} = 3,35 \text{ m}$$

$$H_{s2} = 3,60 \text{ m}$$

$$H_{s3} = 2,85 \text{ m}$$

$$H_{s4} = 3,40 \text{ m}$$

$$Z_1 = 20^{0,763} = 9,83 \text{ m}$$

$$f_{11} = (3,35/9,83) \times [2 - (3,35/9,83)] = 0,56$$

$$f_{12} = (3,60/9,83) \times [2 - (3,60/9,83)] = 0,59$$

$$f_{13} = (2,85/9,83) \times [2 - (2,85/9,83)] = 0,49$$

$$f_{14} = (3,40/9,83) \times [2 - (3,40/9,83)] = 0,57$$

- **I_c**

$$I_{c1} = 1,71/15^{1.4} = 0,0385$$

$$I_{c1} = 1,71/11^{1.4} = 0,0595$$

$$I_{c1} = 1,71/21^{1.4} = 0,0240$$

$$I_{c1} = 1,71/14^{1.4} = 0,0425$$

Calcolo del cedimento

$$\mathbf{W_{i1}} = 1,29 \times 0,56 \times 154,80 \times 8,14 \times 0,0385 = \mathbf{35,04 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{W_{i2}} = 1,29 \times 0,59 \times 154,80 \times 8,14 \times 0,0595 = \mathbf{57,06 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{W_{i3}} = 1,29 \times 0,49 \times 154,80 \times 8,14 \times 0,0240 = \mathbf{19,11 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{W_{i4}} = 1,29 \times 0,57 \times 154,80 \times 8,14 \times 0,0425 = \mathbf{39,37 \text{ mm}}$$

Cedimento totale calcolato trascurando lo scarico per sbancamento:

$$W_{tot} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 35,04 + 57,06 + 19,11 + 39,37 = 150,58 \text{ mm} = \mathbf{15,058 \text{ cm} = W_{tot}}$$

Calcoliamo il cedimento dovuto agli effetti viscosi considerando un periodo di 30 anni e carichi statici

Condizioni di carico	R _s	R _t
Carichi statici	0,3	0,2
Carichi ciclici	0,7	0,8

$$f_t = 1 + 0,3 + 0,2 \times \log_{10} (30/3) = 1,5$$

$$W_{finale} = W_{tot} \times f_t = 15,058 \times 1,5 = \mathbf{22,587 \text{ cm} = W_{finale}}$$

Calcolo del cedimento per terreni sovra-consolidati

Per terreni sovra-consolidati ove $P < \sigma'_{vo}$ $W_i = f_s \times f_l \times P \times B^{0.7} \times I_c/3$ (B)

Per terreni sovra-consolidati ove $P > \sigma'_{vo}$ $W_i = f_s \times f_l \times [P - (2/3 \times \sigma'_{vo})] \times B^{0.7} \times I_c$ (C)

Nel nostro caso per tutti i sottostrati risulta $P > \sigma'_{vo}$ pertanto applicheremo la (C)

$$W_{i1} = f_s \times f_l \times [P - (2/3 \times \sigma'_{vo})] \times B^{0.7} \times I_c =$$

$$\underline{W_{i1}} = 1,29 \times 0,56 \times [154,80 - (2/3 \times 54,41)] \times 8,14 \times 0,0385 = \underline{26,83 \text{ mm}}$$

$$\underline{W_{i2}} = 1,29 \times 0,59 \times [154,80 - (2/3 \times 87,42)] \times 8,14 \times 0,0595 = \underline{33,76 \text{ mm}}$$

$$\underline{W_{i3}} = 1,29 \times 0,49 \times [154,80 - (2/3 \times 118,06)] \times 8,14 \times 0,0240 = \underline{10,73 \text{ mm}}$$

$$\underline{W_{i4}} = 1,29 \times 0,57 \times [154,80 - (2/3 \times 134,45)] \times 8,14 \times 0,0425 = \underline{16,28 \text{ mm}}$$

Cedimento totale calcolato considerando lo scarico per sbancamento:

$$W_{tot} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 26,83 + 33,76 + 10,73 + 16,28 = 87,60 \text{ mm} = \underline{8,76 \text{ cm}} = \underline{W_{tot}}$$

Calcoliamo il cedimento dovuto agli effetti viscosi considerando un periodo di 30 anni e carichi statici

Condizioni di carico	R_s	R_t
Carichi statici	0,3	0,2
Carichi ciclici	0,7	0,8

$$f_t = 1 + 0,3 + 0,2 \times \log_{10}(30/3) = 1,5$$

$$\underline{W_{finale} = W_{tot} \times f_t = 8,76 \times 1,50 = 13,140 \text{ cm} = W_{finale}}$$

4.1.3 Calcolo del cedimento Metodo di Burland-Burbridge

Terreni normalmente consolidati (O.C.R. = 1)

Utilizzando lo strumento di calcolo "LABORATORIO" calcoliamo il cedimento col metodo di Burland-Burbridge:

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):

Spessore	Descrizione	Colore	Campitura	Grana	g Natur...	g Saturato	phi (°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu
1.40	Riperto			Fine	18.0000	18.0000	30.000000	9.806650	0.000000	2500.00
3.35	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00
3.60	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00
2.85	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00
3.40	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00

(°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu	E'	Coef. m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
300000	9.806650	0.000000	2500.00	0.18	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	15	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	11	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	21	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	14	0.00

Impostazioni di calcolo:

Fondazioni

Angolo attrito fondazione (°): 30.0000

Angolo attrito palo (°): 30.0000

Coeff. alfa per pali: 1.00000

Coeff K spinta orizz.: Kp

Profondità piano di posa: 1.40000

Viscosità

Tempo in anni: 30.0000

Falda

Profondità falda (positiva): 1.40000

Rappresentazione

Spost. max. di confronto: 0.000000

Metodi

Teoria resistenza: Brinch-Hansen

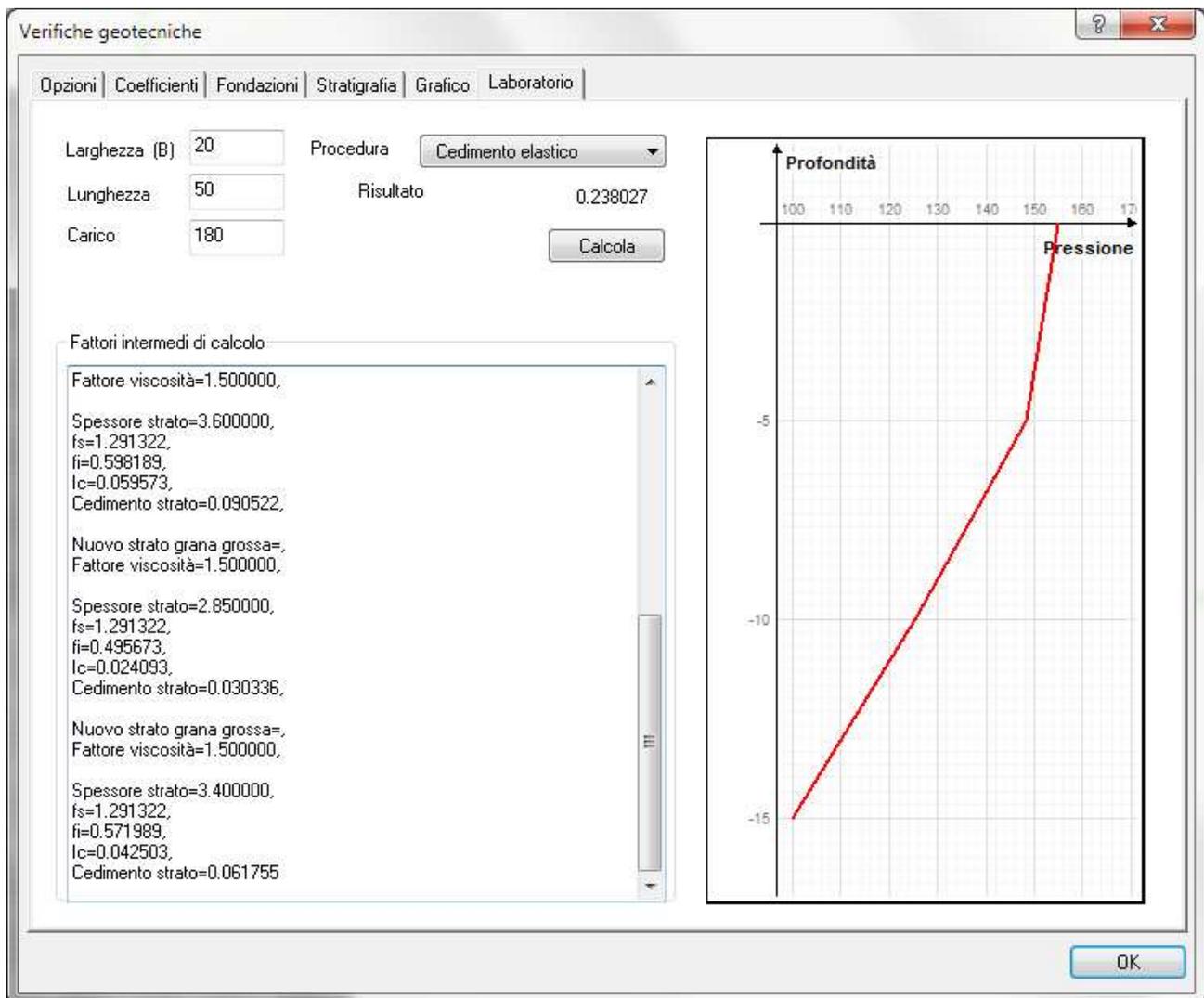
Teoria cinematica: Nessuno

Terreni grana grossa: Burland-Burbridge

Semispaio elastico: Boussinesq

Punzonamento considerato in portanza

Risultati:



NUANS restituisce un cedimento con il metodo di Schmertmann pari a:

Valore calcolato dal programma = $W_{el\ tot} = 0,238\ m$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $W_{el\ tot} = 0,225\ m$

La differenza tra i due risultati ottenuti, è dovuta alla lieve differenza tra il metodo di calcolo implementato nel programma e quello utilizzato per il calcolo manuale che peraltro avvalendosi di parametri determinati per via grafica risulta approssimato.

La differenza riscontrata è del 5% circa, che si considera totalmente accettabile.

Eseguendo un controllo anche sui Fattori intermedi di calcolo, si riscontra anche una completa corrispondenza tra i valori calcolati dal programma e quelli calcolati manualmente.

Terreni sovra-consolidati (O.C.R. >1)

Utilizzando lo strumento di calcolo "LABORATORIO" calcoliamo il cedimento col metodo di Burland-Burbidge:

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):

The left screenshot shows the 'Stratigrafia' tab with the following data:

Spessore	Descrizione	Colore	Campitura	Grana	g Natur...	g Saturo	phi (°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu
1.40	Riperto			Fine	18.0000	18.0000	30.000000	9.806650	0.000000	2500.00
3.35	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00
3.60	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00
2.85	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00
3.40	Sabbia ghiaiosa			Grossa	19.5000	19.5000	32.000000	9.806650	0.000000	3000.00

The right screenshot shows the 'Laboratorio' tab with the following data:

(°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu	E'	Coef. m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
300000	9.806650	0.000000	2500.00	0.18	0.00	1.00	0.0000	0.00	0.00	0	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.50	0.0000	0.00	0.00	15	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.50	0.0000	0.00	0.00	11	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.50	0.0000	0.00	0.00	21	0.00
300000	9.806650	0.000000	3000.00	0.19	0.00	1.50	0.0000	0.00	0.00	14	0.00

Impostazioni di calcolo:

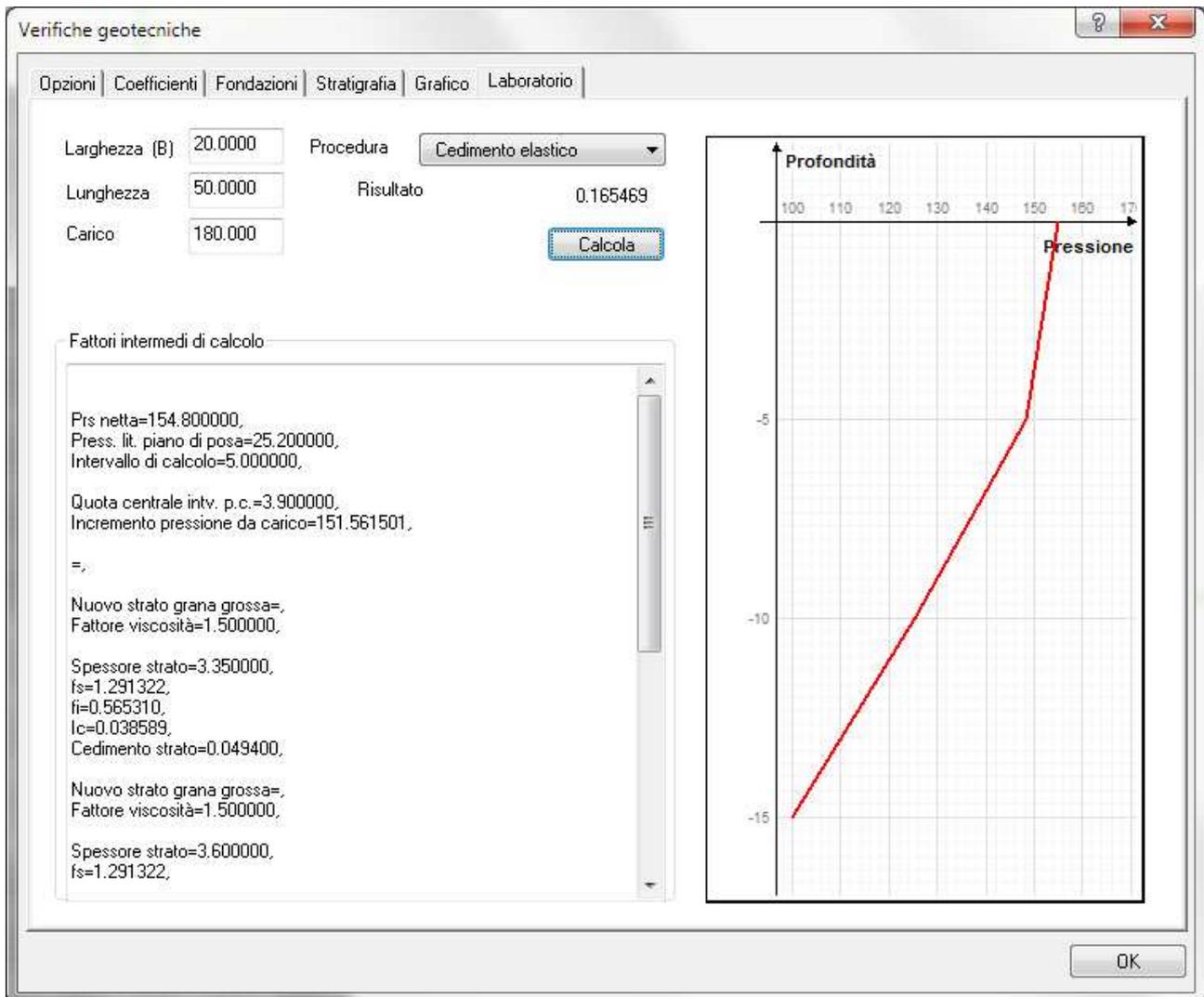
The 'Fondazioni' panel contains the following settings:

- Angolo attrito fondazione (°): 30.0000
- Angolo attrito palo (°): 30.0000
- Coeff. alfa per pali: 1.00000
- Coeff K spinta orizz.: Kp
- Profondità piano di posa: 1.40000

The 'Metodi' panel contains the following settings:

- Teoria resistenza: Brinch-Hansen
- Teoria cinematica: Nessuno
- Terreni grana grossa: Burland-Burbidge
- Semispazio elastico: Boussinesq
- Punzonamento considerato in portanza

Risultati:



NUANS restituisce un cedimento con il metodo di Schmertmann pari a:

Valore calcolato dal programma = $W_{el\ tot} = 0,16\ m$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $W_{el\ tot} = 0,131\ m$

La differenza tra i due risultati ottenuti, è dovuta alla lieve differenza tra il metodo di calcolo implementato nel programma e quello utilizzato per il calcolo manuale che peraltro avvalendosi di parametri determinati per via grafica risulta approssimato.

La differenza riscontrata è del 18% circa, che si considera totalmente accettabile.

Eseguendo un controllo anche sui Fattori intermedi di calcolo, si riscontra anche una completa corrispondenza tra I valori calcolati dal programma e quelli calcolati manualmente.

5 CALCOLI PORTANZA TERRENO

Sarà eseguito il calcolo della portanza sui medesimi casi riportati precedentemente per il calcolo dei cedimenti del terreno.

Per la portanza si impiega la formula generale in Condizioni drenate:

$$q_{ult} = c N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Per il terreno in condizioni non drenate si trascura il comportamento attritivo ($\varphi=0$), l'espressione assume la forma:

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' + q$$

dove:

q è la pressione litostatica sul piano di posa.

N_c è il fattore di portanza che tiene conto del comportamento coesivo del terreno

N_q è il fattore di portanza che tiene conto dell'incremento alla portanza dovuto alla eventuale presenza di un rinfiaccio laterale di terreno, alla fondazione

N_γ è il fattore di portanza che tiene conto della resistenza dovuta al comportamento attritivo del terreno

I tre fattori N sono tre funzioni dipendenti dall'angolo di attrito del terreno.

s è il fattore di forma che tiene conto della reale impronta della fondazione

d è il fattore che tiene conto della profondità

i è il fattore che tiene conto dell'inclinazione del carico

A seconda della teoria applicata i coefficienti sopra elencati assumono un diverso valore.

5.1 Metodo Hansen

I coefficienti proposti da Hansen sono i seguenti.

	s	d	i
c	$1 + [(N_q B)/(N_c L)]$	$1 + 0.4 \beta$	$i_q - [(1 - i_q)/(N_q - 1)]$
q	$1 + B/L \tan \varphi$	$1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta$	$\{1 - [(0.5H)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5$
γ	$1 - 0.4 B/L$	1	$\{1 - [(0.7H)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{(\pi \tan \varphi)}$

$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$

$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan \varphi$

$s_c' = 1 + 0.2 B/L$

$d_c' = 1 + 0.4 D/B$ (se $D < B$)

e

$d_c' = 1 + 0.4 \arctan D/B$ (se $D > B$)

$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}]$

$\beta = D/B$ per $D < B$

e

$\beta = \arctan D/B$ per $D > B$

5.2 Metodo Brinch-Hansen

I coefficienti proposti da Brinch-Hansen sono i seguenti.

	s	d	i
c	$1+0.2 k$	$d_q - [(1-d_q)/(N_c \operatorname{tg}(\varphi))]$	$i_q - [(1-i_q)/(N_q - 1)]$
q	$1+0.1 k$	$1+2 \tan \varphi (1-\sin \varphi)^2 \beta$	$\{1 - [H/(V+A_f c \cot \varphi)]\}^m$
γ	$1+0.1 k$	1	$\{1 - [H/(V+A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1}$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

$$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{(\pi \tan \varphi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi$$

$$s_c' = 1+0.2 B/L$$

$$d_c' = 1+0.4 D/B \text{ (se } D < B)$$

$$d_c' = 1+0.4 \arctan D/B \text{ (se } D > B)$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}]$$

$$\beta = D/B \text{ per } D < B$$

e

$$\beta = \arctan D/B \text{ per } D > B$$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad k = \frac{B}{L} \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$

5.3 Metodo Vesic

I coefficienti proposti da Vesic sono i seguenti.

	s	d	i
c	$1 + [(N_q B)/(N_c L)]$	$d_q - [(1-d_q)/N_c \operatorname{tg}(\varphi)]$	$i_q - [(1-i_q)/(N_q - 1)]$
q	$1 + (B/L) \operatorname{tg}(\varphi)$	$1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta$	$\{1 - [H/(V+A_f c \cot \varphi)]\}^m$
γ	$1 - 0.4 B/L$	1	$\{1 - [H/(V+A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1}$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

$$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{(\pi \tan \varphi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \varphi$$

$$s_c' = 1+0.2 B/L$$

$$d_c' = 1+0.4 D/B \quad (D < B)$$

$$d_c' = 1+0.4 \arctan D/B \quad (D > B)$$

$$i_c' = 1 - [(m \times H)/(B \times L \times c_u \times V)]$$

$$\beta = D/B \text{ per } D < B$$

e

$$\beta = \arctan D/B \text{ per } D > B$$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

5.4 Metodo Eurocodice 7

I coefficienti proposti dall'EC7 sono i seguenti.

	s	d (in EC7 è b)	i
c	$s_q [(1-s_q)/(N_q-1)]$	$d_q - [(1-d_q)/N_c \operatorname{tg}(\varphi)]$	$i_q - (1-i_q)/(N_q-1)$
q	$1 + \sin(\varphi) B/L$	$(1-\eta \tan \varphi)^2$	$\{1 - [H/(V + A_f c' \cot \varphi)]\}^m$
γ	$1 - 0.3 B/L$	$(1-\eta \tan \varphi)^2$	$\{1 - [H/(V + A_f c' \cot \varphi)]\}^{m+1}$

A_f = Area fondazione

c = coesione

H e V = rispettivamente, componente orizzontale e verticale del carico

$\vartheta = 0$ = Angolo di inclinazione del carico proiettato sul P.F. rispetto alla direzione del lato L

η = angolo inclinazione del carico espresso in radianti

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi/2) e^{(\pi \tan \varphi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi$$

$$s_c' = 1 + 0.2 B/L$$

$$d_c' = 1 - [2\eta/(\pi + 2)]$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}]$$

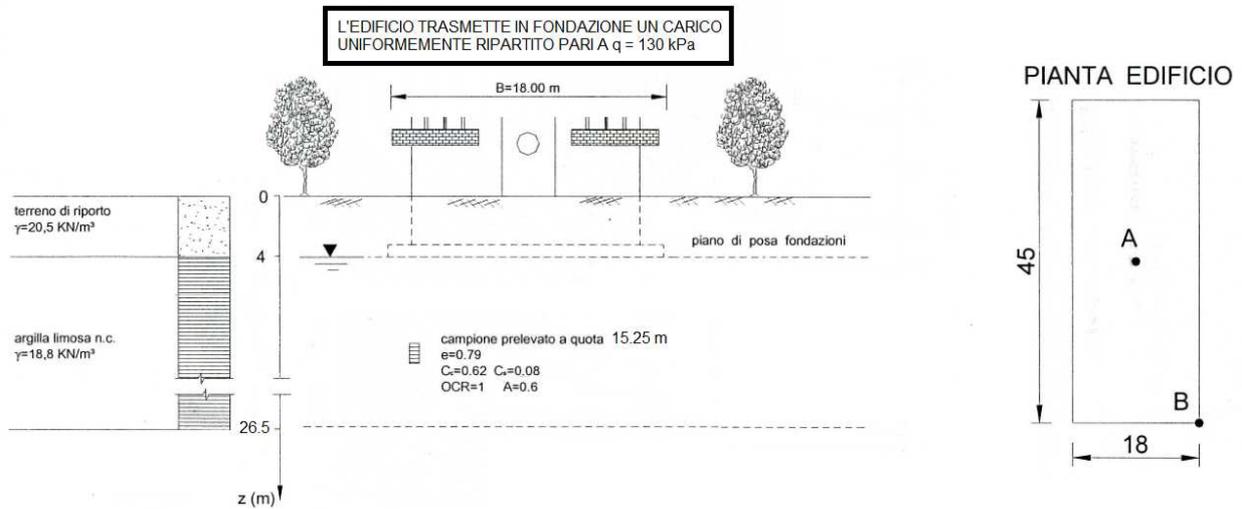
$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

Nel caso la falda idrica interessi il cuneo di fondazione, viene impiegato un peso specifico medio ottenuto come media pesata fino alla profondità h_c del cuneo:

$$h_c = B/2 \tan(45^\circ + \varphi/2)$$

6 CASO DI PROVA 1 PORTANZA FONDAZIONE

6.1 Dati di progetto



Elenco dei Dati:

Profondità della falda: - 4.0 m

Strato 1: Terreno di riporto

Peso unità di volume = $\gamma = 20,5$

Strato 2: Argilla limosa n.c. (normalmente consolidata)

Campione prelevato a quota -15,25 m

Peso unità di volume = $\gamma = 18,8 \text{ kN/mc}$

Angolo di attrito = $\varphi = 28^\circ$

Indice dei vuoti = $e = 0,79$

Grado di consolidazione = $OCR = 1,0$

Indice di compressibilità = $C_c = 0,62$

Indice di rigonfiamento = $C_s = 0,08$

Modulo elastico in condizioni non drenate = $E_u = 3,2 \text{ Mpa}$

Modulo elastico in condizioni drenate = $E' = 2,8 \text{ Mpa}$

Coefficiente di poisson = $\nu = 0,3$

Modulo Edometrico = $E'_x[(1-\nu')/(1-\nu-2\nu'^2)] = 2,8 \times [(1-0,3)/(1-0,3-2 \times 0,3^2)] = 3,76 \text{ Mpa} = E_{ed}$

Coesione non drenata = $c_u = 10,0 \text{ kN/mq}$

Coesione drenata = $c' = 0,00 \text{ kN/mq}$

Dati edificio:

Dimensione fondazione a platea: 18,0x45,0 m

Carico scaricato in fondazione = $q = 130 \text{ kPa}$

Quota di imposta della fondazione = -4,00 m

Calcolo della portanza della fondazione

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times 1 \times s_c' \times d_c' \times i_c' + q$$

dove:

q è la pressione litostatica sul piano di posa = q terreno sbancato = $\gamma_{riporto} \times h_{scavo} = 20,5 \times 4,0 = 82,0 \text{ kN/mq} = q$

Applicheremo l'Approccio 2

Approccio di verifica			
Approccio	2		
Combinazione 1	A1+M1+R3		
Combinazione 2	-		
Aggiorna			
Coefficients gamma in combinazione A			
		A1	A2
Permanente	Favorevole	1,0	1,0
	Sfavorevole	1,3	1,0
Permanente non strutt	Favorevole	0,0	0,0
	Sfavorevole	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	0,0	0,0
	Sfavorevole	1,5	1,3
Coefficients parziali M parametri terreno			
		M1	M2
Tangente angolo resist. Taglio		1,0	-
Coesione efficace		1,0	-
Resistenza non drenata		1,0	-
Peso dell'unità di volume		1,0	-
Fattori sic. fondaz superficiali R			
	R1	R2	R3
Capacità portante	-	-	2,30
Scorrimento	-	-	1,1

Con tale approccio l'unico coefficiente che dovremo applicare nel nostro caso è l'R3

6.1.1 Modello geotecnico di verifica assegnato in NUANS

Utilizzando lo strumento di calcolo “LABORATORIO” verrà calcolata la portanza.

Vengono riportate le impostazioni generali assegnate in NUANS, mentre il risultato è riportato nei paragrafi successivi, subito dopo l'esplicazione dei calcoli manuali.

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):

Spessore	Descrizione	Colore	Campitura	Grana	g Natur...	g Saturo	phi (°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu
4.00	Riperto	Red		Fine	20.5000	20.5000	28.000000	2.000000	0.000000	3000.00
22.50	Argilla limosa	Blue		Fine	18.8000	18.8000	28.000000	10.000000	0.000000	3200.00

(°)	Coes. cu	Coes. c'	Eu	E'	Coef. m	OCR	e0	Cs	Cc	Nmedio	Qc
300000	2.000000	0.000000	3000.00	2000.00	0.00	1.00	0.0010	0.02	0.02	0	0.00
300000	10.000000	0.000000	3200.00	2800.00	250.00	1.00	0.7900	0.08	0.62	0	0.00

Impostazioni di calcolo:

Coefficienti parziali M parametri terreno

Tangente anglo resist. taglio: 1.00000
Coesione efficace: 1.00000
Resistenza non drenata: 1.00000
Peso unità di volume: 1.00000

Fattori sic. R fondaz. superficiali

Portanza: 2.30000
Scorimento: 1.10000

Fattori sicurezza R fondaz. profonde

Tipo palo: Trivellato
Resistenza alla base: 1.35000
Laterale di compressione: 1.15000
Laterale di trazione: 1.25000
Carichi trasversali: 1.30000
Vericali indagate: N/A 1.00000

Coefficienti gamma in combinazione A

Permanente sfavorevole: 1.30000
Variable sfavorevole: 1.50000

Fondazioni

Angolo altito fondazione (°): 30.0000
Angolo altito palo (°): 30.0000
Coef. alla per pali: 1.00000
Coef. K spirita orizz: Kp
Profondità piano di posa: 4.00000

Metodi

Teoria resistenza: Hansen
Teoria cinematica: Nessuno
Terreni grana grossa: Schmiedmann
Serri spazio elastico: Boussinesq

Funzionamento considerato in portanza

viene utilizzato l'Approccio 2, mentre la teoria di resistenza utilizzata sarà cambiata di volta in volta, a seconda del criterio da confrontare.

Calcolo della portanza e dei fattori con il Metodo Hansen

$$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{\pi \tan \varphi} = \tan^2 (45 + 28/2) \times 2.71^{(3.14 \tan 28)} = \tan^2 (59) \times 2.71^{(1.66)} = 2.77 \times 5.23 = \underline{14.48} = N_q$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi = (14.48 - 1) \times \cot 28 = 13.48 \times 1.88 = \underline{25.35} = N_c$$

$$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan \varphi = 1.5 (14.48 - 1) \tan 28 = 20.22 \times \tan 28 = \underline{10.75} = N_\gamma$$

	s	d	i
c	$1 + [(N_q B)/(N_c L)]$	$1 + 0.4 \beta$	$i_q - [(1 - i_q)/(N_q - 1)]$
q	$1 + B/L \tan \varphi$	$1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta$	$\{1 - [(0.5H)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5$
γ	$1 - 0.4 B/L$	1	$\{1 - [(0.7H)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5$

$$s_c = 1 + N_q B/(N_c L) = 1 + 14.48 \times 18/(25.35 \times 45) = 1.22$$

$$D < B \quad 4 < 18$$

$$\text{per } D < B \quad \beta = D/B = 4/18 = 0.22$$

$$d_c = 1 + 0.4 \beta = 1 + 0.4 \times 0.22 = 1.088$$

$$i_q = \{1 - [(0.5H)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5 = \{1 - [(0.5 \times 0)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5 = (1 - 0)^5 = 1$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1) = 1 - (1 - 1)/(14.48 - 1) = 1 - 0 = 1$$

$$s_q = 1 + B/L \tan \varphi = 1 + 18/45 \times \tan 28 = 1.21$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta = 1 + 2 \tan 28 \times (1 - \sin 28)^2 \times 0.22 = 1.065$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 B/L = 1 - 0.4 \times 18/45 = 0.84$$

$$d_{\gamma c} = 1$$

$$i_\gamma = \{1 - [(0.7H)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5 = \{1 - [(0.7 \times 0)/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^5 = (1 - 0)^5 = 1$$

$$s_c' = 1 + 0.2 B/L = 1 + 0.2 \times 18/45 = 1.08$$

$$D < B \quad 4 < 18$$

$$\text{per } D < B \quad d_c' = 1 + 0.4 D/B = 1 + 0.4 \times 4/18 = 1.088$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}] = 0.5 \times \{1 + [1 - 0/(810 \times 10)]^{0.5}\} = 1$$

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c' N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_{\gamma c} i_\gamma = 0,0 \times 25.35 \times 1.22 \times 1.088 \times 1 + 82 \times 14.48 \times 1.21 \times 1.065 \times 1 + 0.5 \times 18 \times (18.8 - 10) \times 10.75 \times 0.84 \times 1 \times 1 = 1530.09 + 715,17 = 2245,26 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 2245,26 / 2.3 = \underline{976,20 \text{ N/mq}} = q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni drenate (Hansen)}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' + q = 5.14 \times 10.0 \times 1.08 \times 1.088 \times 1 + 82.0 = 142.39 \text{ kN/mq} = q_{ult} u$$

$$q_{ult} u/R3 = 142.39/2.3 = \underline{61.91 \text{ kN/mq}} = q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni non drenate (Hansen)}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18), "Lunghezza" (45), and "Carico" (130). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite drenata". The "Risultato" field displays "1002.21". A "Calcola" button is visible. Below the input fields is a section titled "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. An "OK" button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 1002.21 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 976.20 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 2.5% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" with the value 18, "Lunghezza" with 45, and "Carico" with 130. A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite non drenati". The "Risultato" field displays the value 61.9332. A "Calcola" button is visible below the result. At the bottom right, there is an "OK" button. A section titled "Fattori intermedi di calcolo" contains an empty scrollable area.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 61.91 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 61.93 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è dello 0.03% circa, che si considera totalmente accettabile.

Calcolo della portanza e dei fattori con il Metodo Brinch-Hansen

$$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{(\pi \tan \varphi)} = \tan^2 (45 + 28/2) \times 2.71^{(3.14 \tan 28)} = \tan^2 (59) \times 2.71^{(1.66)} = 2.77 \times 5.23 = \underline{14.48} = N_q$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi = (14.48 - 1) \times \cot 28 = 13.48 \times 1.88 = \underline{25.35} = N_c$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \varphi = 1,5 \times (14.48 - 1) \tan 28 = 26.96 \times \tan 28 = \underline{10,75} = N_\gamma$$

	s	d	i
c	1+0.2 k	$d_q - [(1-d_q)/(N_c \operatorname{tg}(\varphi))]$	$i_q - [(1-i_q)/(N_q - 1)]$
q	1+0.1 k	$1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta$	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^m$
γ	1 + 0.1 k	1	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1}$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}} \quad k = \frac{B}{L} \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$

$$m = (2 + B/L)/(1 + B/L) = (2 + 0.4)/(1 + 0.4) = 1.71$$

$$k = B/Lx[(1 + \sin \varphi)/(1 - \sin \varphi)] = 18/45x[(1 + \sin 28)/(1 - \sin 28)] = 0.4x[(1.469)/(0.53)] = 1.10$$

$$s_c = 1 + 0.2 k = 1 + 0.2 \times 1.10 = 1.22$$

$$D < B \quad 4 < 18$$

$$\text{per } D < B \quad \beta = D/B = 4/18 = 0.22$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta = 1 + 2 \tan 28 (1 - \sin 28)^2 0.22 = 1.06$$

$$d_c = d_q - [(1-d_q)/(N_c \operatorname{tg}(\varphi))] = 1.06 - (1-1.06)/(25.35 \operatorname{tg} 28) = 1.10$$

$$i_q = \{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^m = \{1 - [0/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{1.71} = 1$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1) = 1 - (1 - 1)/(14.48 - 1) = 1$$

$$s_q = 1 + 0.1 k = 1 + 0.11 = 1.11$$

$$s_\gamma = 1 + 0.1 k = 1 + 0.11 = 1.11$$

$$d_{\gamma c} = 1$$

$$i_\gamma = \{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1} = \{1 - [0/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{2.71} = 1$$

$$s_c' = 1 + 0.2 B/L = 1 + 0.2 \times 18/45 = 1.08$$

$$D < B \quad 4 < 18$$

$$\text{per } D < B \quad d_c' = 1 + 0.4 D/B = 1 + 0.4 \times 4/18 = 1.088$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}] = 0.5 \times \{1 + [1 - 0/(810 \times 10)]^{0.5}\} = 1$$

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c' N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma =$$

$$= 0,0 \times 25.35 \times 1.22 \times 1.10 \times 1 + 82 \times 14.48 \times 1.11 \times 1.06 \times 1 + 0.5 \times 18 \times (18.8-10) \times$$

$$10,75 \times 1.11 \times 1 \times 1 = 1397.04 + 945,05 = 2342,09 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 2342,09/2.3 = \underline{1018,30 \text{ kN/mq}} = q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni drenate (Brinch-Hansen)}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' + q = 5.14 \times 10.0 \times 1.08 \times 1.088 \times 1 + 82.0 = 142.39 \text{ kN/mq} = q_{ult}u$$

$$q_{ult}u/R3 = 142.39/2.3 = \underline{61.91 \text{ kN/mq}} = q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni non drenate (Brinch-Hansen)}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18.0000), "Lunghezza" (45.0000), and "Carico" (130.000). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite drenata". The "Risultato" field displays "1049.46". A "Calcola" button is visible. Below the input fields is a section titled "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. An "OK" button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 1049.96 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 1018.30 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 3% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18), "Lunghezza" (45), and "Carico" (130). The "Procedura" dropdown is set to "Portanza limite non drenate". The "Risultato" field displays "61.9332". A "Calcola" button is visible. Below the inputs is a scrollable area labeled "Fattori intermedi di calcolo" which is currently empty. An "OK" button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 61.91 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 61.93 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è dello 0.03% circa, che si considera totalmente accettabile.

Calcolo della portanza e dei fattori con il Metodo Vesic

$$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{(\pi \tan \varphi)} = \tan^2 (45 + 28/2) \times 2.71^{(3.14 \tan 28)} = \tan^2 (59) \times 2.71^{(1.66)} = 2.77 \times 5.23 = \underline{14.48} = N_q$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi = (14.48 - 1) \times \cot 28 = 13.48 \times 1.88 = \underline{25.35} = N_c$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \varphi = 2 \times (14.48 + 1) \tan 28 = 30.96 \times \tan 28 = \underline{16.46} = N_\gamma$$

	s	d	i
c	$1 + [(N_q B)/(N_c L)]$	$d_q - [(1 - d_q)/N_c \tan(\varphi)]$	$i_q - [(1 - i_q)/(N_q - 1)]$
q	$1 + (B/L) \tan(\varphi)$	$1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta$	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^m$
γ	$1 - 0.4 B/L$	1	$\{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1}$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

$$m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

$$m = (2 + B/L)/(1 + B/L) = (2 + 0.4)/(1 + 0.4) = 1.71$$

$$m_L = (2 + L/B)/(1 + L/B) = (2 + 2.5)/(1 + 2.5) = 1.28$$

$\vartheta = 0 =$ Angolo di inclinazione del carico proiettato sul P.F. rispetto alla direzione del lato L

$$m' = m_L \times \cos^2 \vartheta + m \times \sin^2 \vartheta = 1.28 \times 1 + 1.71 \times 0 = 1.28$$

$$s_c = 1 + N_q B/(N_c L) = 1 + 14.48 \times 18/(25.35 \times 45) = 1.22$$

$$D < B \quad 4 < 18$$

per $D < B \quad \beta = D/B = 4/18 = 0.22$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \beta = 1 + 2 \tan 28 (1 - \sin 28)^2 0.22 = 1.06$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q)/(N_c \tan(\varphi)) = 1.06 - (1 - 1.06)/(25.35 \tan 28) = 1.10$$

$$i_q = \{1 - [H/(V + A_f c' \cot \varphi)]\}^m = \{1 - [0/(V + A_f c' \cot \varphi)]\}^{1.28} = 1$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1) = 1 - (1 - 1)/(14.48 - 1) = 1$$

$$s_q = 1 + B/L \tan \varphi = 1 + 18/45 \times \tan 28 = 1.21$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 B/L = 1 - 0.4 \times 18/45 = 0.84$$

$$d_\gamma = 1$$

$$i_\gamma = \{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1} = \{1 - [0/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{2.28} = 1$$

$$s_c' = 1 + 0.2 B/L = 1 + 0.2 \times 0.4 = 1 + 0.08 = 1.08$$

$$D < B \quad 4 < 18$$

per $D < B \quad d_c' = 1 + 0.4 D/B = 1 + 0.4 \times 4/18 = 1.088$

$$i_\gamma = \{1 - [H/(V + A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1} = i_\gamma = \{1 - [0/(V + (18 \times 45) \times 10 \times \cot 28)]\}^{2.28} = 1$$

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c' N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma = 0,0 \times 25.35 \times 1.22 \times 1.10 \times 1 + 82 \times 14.48 \times 1.21 \times 1.06 \times 1 + 0.5 \times 18 \times (18.8 - 10) \times 16.46 \times 0.84 \times 1 \times 1 = 1522,90 + 1095,05 = 2617,95 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 2617,95/2.3 = \underline{1138,23 \text{ kN/mq}} = \underline{q_{ult}} = \underline{\text{Portanza in Condizioni drenate (Vesic)}}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' + q = 5.14 \times 10.0 \times 1.08 \times 1.088 \times 1 + 82.0 = 142.39 \text{ kN/mq} = q_{ult} u$$

$$\underline{q_{ult} u/R3 = 142.39/2.3 = 61.91 \text{ kN/mq} = q_{ult}} = \underline{\text{Portanza in Condizioni non drenate (Vesic)}}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18.0000), "Lunghezza" (45.0000), and "Carico" (130.0000). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite drenata". The "Risultato" field displays "1172.90". A "Calcola" button is visible. Below the input fields is a section titled "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. A large empty rectangular box is on the right side of the window. An "OK" button is at the bottom right.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 1172.90 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 1138.23 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 3% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" with value 18, "Lunghezza" with value 45, and "Carico" with value 130. The "Procedura" dropdown is set to "Portanza limite non drenati". The "Risultato" field displays "61.9332". A "Calcola" button is visible. Below the inputs is a section titled "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. An "OK" button is at the bottom right.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 61.91 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 61.93 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è dello 0.03% circa, che si considera totalmente accettabile.

Calcolo della portanza e dei fattori con il Metodo EC7

$$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{(\pi \tan \varphi)} = \tan^2 (45 + 28/2) \times 2.71^{(3.14 \tan 28)} = \tan^2 (59) \times 2.71^{(1.66)} = 2.77 \times 5.23 = \underline{\underline{14.48 = N_q}}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi = (14.48 - 1) \times \cot 28 = 13.48 \times 1.88 = \underline{\underline{25.35 = N_c}}$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi = 2 \times (14.48 - 1) \tan 28 = 26.96 \times \tan 28 = \underline{\underline{14.33 = N_\gamma}}$$

	s	d (in EC7 è b)	i
c	$s_q [(1-s_q)/(N_q-1)]$	$d_q - [(1-d_q)/N_c \operatorname{tg}(\varphi)]$	$i_q - (1-i_q)/(N_q-1)$
q	$1 + \sin(\varphi) B/L$	$(1-\eta \tan \varphi)^2$	$\{1 - [H/(V+A_f c' \cot \varphi)]\}^m$
γ	$1 - 0.3 B/L$	$(1-\eta \tan \varphi)^2$	$\{1 - [H/(V+A_f c' \cot \varphi)]\}^{m+1}$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

$$m_L = \frac{2 + \frac{L}{B}}{1 + \frac{L}{B}}$$

$$m = (2+B/L)/(1+B/L) = (2+0.4)/(1+0.4) = 1.71$$

$$m_L = (2+L/B)/(1+L/B) = (2+2.5)/(1+2.5) = 1.28$$

$\vartheta = 0 =$ Angolo di inclinazione del carico proiettato sul P.F. rispetto alla direzione del lato L

$$m' = m_L \times \cos^2 \vartheta + m \times \sin^2 \vartheta = 1.28 \times 1 + 1.71 \times 0 = 1.28$$

$$s_q = 1 + \sin(\varphi) B/L = 1 + \sin(28) 0.4 = 1 + 0.187 = 1.187$$

$$s_c = s_q [(1-s_q)/(N_q-1)] = 1.187 [(1-1.187)/(13.48)] = 1.02$$

$\eta =$ angolo inclinazione del carico espresso in radianti

$$d_q = (1-\eta \tan \varphi)^2 = (1-0 \tan \varphi)^2 = 1$$

$$d_c = d_q - (1-d_q)/(N_c \operatorname{tg}(\varphi)) = 1 - (1-1)/(25.35 \operatorname{tg} 28) = 1$$

$$i_q = \{1 - [H/(V+A_f c' \cot \varphi)]\}^m = \{1 - [0/(V+A_f c' \cot \varphi)]\}^{1.28} = 1$$

$$i_c = i_q - (1-i_q)/(N_q-1) = 1 - (1-1)/(14.48-1) = 1$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 B/L = 1 - 0.3 \times 18/45 = 0.88$$

$$d_\gamma = (1-\eta \tan \varphi)^2 = (1-0 \tan \varphi)^2 = 1$$

$$i_\gamma = \{1 - [H/(V+A_f c \cot \varphi)]\}^{m+1} = \{1 - [0/(V+A_f c \cot \varphi)]\}^{2.28} = 1$$

$$s_c' = 1 + 0.2 B/L = 1 + 0.2 \times 0.4 = 1 + 0.08 = 1.08$$

$$d_c' = 1 - [2\eta/(\pi+2)] = 1 - [2 \times 0/(3.14+2)] = 1$$

$$i_c' = 0.5 \times [1 + (1 - H/A_f c)^{0.5}] = 0.5 \times \{1 + [1 - 0/(810 \times 10)]^{0.5}\} = 1$$

Nel nostro caso la falda idrica non interessa il cuneo di fondazione.

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c_u N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma =$$

$$= 10 \times 25.35 \times 1.02 \times 1 \times 1 + 82 \times 14.48 \times 1.187 \times 1 \times 1 + 0.5 \times 18 \times (18.8-10) \times 14.33 \times 0.88 \times 1 \times 1 =$$

$$= 1409.39 + 998.74 = 2408.13 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 2408.13/2.3 = \underline{\underline{1047.01 \text{ kN/mq} = q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni drenate (EC7)}}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' + q = 5.14 \times 10.0 \times 1.08 \times 1 \times 1 + 82.0 = 137.51 \text{ kN/mq} = q_{ult} u$$

$$q_{ult} u/R3 = 137.51/2.3 = \underline{\underline{59.78 \text{ kN/mq} = q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni non drenate (EC7)}}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18.0000), "Lunghezza" (45.0000), and "Carico" (130.000). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite drenata". The "Risultato" field displays "1075.17". A "Calcola" button is visible. Below the input fields is a section labeled "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. A large empty rectangular box is on the right side of the window. An "OK" button is at the bottom right.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 1075.17 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 1047.01 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 2.5% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18.0000), "Lunghezza" (45.0000), and "Carico" (130.000). The "Procedura" dropdown is set to "Portanza limite non drenati". The "Risultato" field displays "59.7878". A "Calcola" button is visible. Below the inputs is a section for "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. An "OK" button is at the bottom right.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 59.78 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 59.70 \text{ kN/m}^2$

I due risultati coincidono.

Punzonamento

Rieseguiamo il calcolo della portanza del caso precedente, tenendo conto anche del Punzonamento. Il Punzonamento per essere verificato richiede di calcolare l'indice di rigidezza del terreno, e l'indice critico di rigidezza; se quest'ultimo è maggiore dell'indice di rigidezza del terreno si deve considerare una portanza ridotta dai fattori ψ .

Per determinare il modulo di resistenza a taglio si impiegano le seguenti relazioni:

Modulo elastico tangenziale

$$G = E / (2 (1+v))$$

$$v = k_0 / (1+k_0)$$

$$k_0 = (1 - \sin(\phi)) \text{ OCR}^{\sin(\phi)} = (1 - \sin(28)) \times 1^{\sin(28)} = 0,468 \times 1 = 0,468$$

$$v = k_0 / (1+k_0) = 0,468 / (1+0,468) = 0,31$$

$$G = E / (2 (1+v)) = 2600 / (2 \times (1+0,31)) = 992,00 \text{ Mpa} = G$$

Calcolo Indice di rigidezza del terreno:

σ' = tensione litostatica efficace alla profondità $(D + B/2)$ dal piano campagna

Calcoliamo σ'

$$\sigma_v r = \text{tensione al piede dello strato di riporto} = \text{griporto} \times h \text{ rip} = 20,5 \times 4 = 82,0 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma = \sigma_v r + \gamma \text{ argilla} \times B/2 = 82,0 + 18,8 \times (18/2) = 251,2 \text{ kN/mq}$$

$$u = 10 \times 9,0 = 90,0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma' = 251,20 - 90,0 = \underline{\underline{161,20 \text{ kN/mq}}}$$

$$I_r = G / (c' + \sigma' \text{ tg}(\phi)) = 992,00 / (0,00 + 161,20 \times \text{tg}(28)) = \underline{\underline{11,61}} = I_r$$

Calcolo Indice di rigidezza critico:

$$I_{r,\text{crit}} = 1/2 \times e^{[(3,3-0,45 \times B/L) \times \text{ctg}(45^\circ - (\phi/2))]} = 1/2 \times 2,71^{[(3,3-0,45 \times 0,4) \times \text{ctg}(45^\circ - (14))]} = \underline{\underline{87,37}} = I_{r,\text{crit}}$$

$$I_r < I_{r,\text{crit}} \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{11,61}} < \underline{\underline{87,37}} \quad \text{Dobbiamo ridurre la portanza per punzonamento}$$

Calcolo dei coefficienti riduttivi:

- In condizioni drenate

$$\psi_\gamma = \psi_q = e^{\{(0,6 \times B/L - 4,4) \times \text{tg}(\phi) + [(3,07 \times \sin(\phi) \times \log_{10}(2 \times I_r)) / (1 + \sin(\phi))]\}} =$$
$$= 2,71^{\{(0,6 \times 0,4 - 4,4) \times \text{tg}(28) + [(3,07 \times \sin(28) \times \log_{10}(2 \times 11,61)) / (1 + \sin(28))]\}} = 2,71^{\{-2,21 + [(1,43 \times 1,36) / (1,46)]\}} = 2,71^{-0,87}$$

$$= 0,42 = \psi_\gamma = \psi_q$$

$$\psi_c = \psi_q - [(1 - \psi_q) / (N_q \times \text{tg}(\phi))] = 0,42 - [(1 - 0,42) / (14,48 \times \text{tg}(28))] = \underline{\underline{0,34}} = \psi_\gamma$$

- In condizioni non drenate

$$\psi_\gamma = \psi_q = 1$$

$$\psi_c = 0,32 + 0,12 B/L + 0,6 \log_{10}(I_r) = 0,32 + 0,12 \times 0,4 + 0,6 \times \log_{10}(11,61) = 0,32 + 0,048 + 0,6 \times 1,06 = 1,006 = \psi_c$$

Viene assunto $\psi_c = 1,00$

I fattori ψ_γ , ψ_q e ψ_c vengono impiegati come moltiplicatori riduttivi dei corrispondenti fattori della formula trinomia, procediamo quindi calcolando la portanza in tenendo in conto le riduzioni dovute al punzonamento del terreno di fondazione.

Hansen con Punzonamento

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c' N_c s_c d_c i_c \psi_c + q N_q s_q d_q i_q \psi_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \psi_\gamma =$$
$$= 0,0 \times 25,35 \times 1,22 \times 1,088 \times 1 \times 0,34 + 82 \times 14,48 \times 1,21 \times 1,065 \times 1 \times 0,42 + 0,5 \times 18 \times (18,8-10) \times$$
$$10,75 \times 0,84 \times 1 \times 1 \times 0,42 = 642,63 + 300,36 = 942,99 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 942,99/2,3 = \underline{\underline{409,99 \text{ kN/mq}}} = \underline{\underline{q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni drenate con Punz (Hansen)}}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5,14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' \times \psi_c + q = 5,14 \times 10,0 \times 1,08 \times 1,088 \times 1 \times 1,00 + 82,0 = 142,39 \text{ kN/mq} = q_{ult}$$
$$q_{ult}/R3 = 142,39/2,3 = \underline{\underline{61,91 \text{ kN/mq}}} = \underline{\underline{q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni non drenate con Punz (Hansen)}}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | Stratigrafia | Grafico | Laboratorio

Larghezza (B) 18.0000 Procedura Portanza limite drenata

Lunghezza 45.0000 Risultato 424.867

Carico 130.000 Calcola

Fattori intermedi di calcolo

OK

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 424.867 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $q_{ult} = 409.99 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 3.5% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18), "Lunghezza" (45), and "Carico" (130). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite non drenati". The "Risultato" field displays "61.9332". A "Calcola" button is visible. Below the input fields is a section titled "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. An "OK" button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 61.91 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $q_{ult} = 61.93 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è dello 0.03% circa, che si considera totalmente accettabile.

Brinch-Hansen con Punzonamento

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c' N_c s_c d_c i_c \psi_c + q N_q s_q d_q i_q \psi_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \psi_\gamma =$$
$$= 0,0 \times 25,35 \times 1,22 \times 1,10 \times 1 \times 0,34 + 82 \times 14,48 \times 1,11 \times 1,06 \times 1 \times 0,42 + 0.5 \times 18 \times (18,8-10) \times$$
$$10,75 \times 1,11 \times 1 \times 1 \times 0,42 = 586,75 + 396,91 = 983,66 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 983,66/2,3 = \underline{\underline{427,67 \text{ kN/mq}}} = \underline{\underline{q_{ult}}} = \underline{\underline{\text{Portanza in Condizioni drenate con Punz (Brinch-Hansen)}}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' \psi_c + q = 5.14 \times 10.0 \times 1.08 \times 1.088 \times 1 \times 1,00 + 82.0 = 142.39 \text{ kN/mq} = q_{ult}u$$

$$q_{ult} u/R3 = 142.39/2.3 = \underline{\underline{61.91 \text{ kN/mq}}} = \underline{\underline{q_{ult}}} = \underline{\underline{\text{Portanza in Condizioni non drenate con Punz (Brinch-Hansen)}}$$

Risultati: NUANS
Condizioni drenate

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | Stratigrafia | Grafico | Laboratorio

Larghezza (B) 18.0000 Procedura Portanza limite drenata

Lunghezza 45.0000 Risultato 444.897

Carico 130.000 Calcola

Fattori intermedi di calcolo

OK

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 444.897 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $q_{ult} = 427.67 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 3.8% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18), "Lunghezza" (45), and "Carico" (130). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite non drenati". The "Risultato" field displays "61.9332". A "Calcola" button is visible. Below the input fields is a section titled "Fattori intermedi di calcolo" with an empty scrollable area. An "OK" button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 61.91 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $q_{ult} = 61.93 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è dello 0.03% circa, che si considera totalmente accettabile.

Vesic con Punzonamento

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c' N_c s_c d_c i_c \psi_c + q N_q s_q d_q i_q \psi_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \psi_\gamma =$$
$$= 0,0 \times 25,35 \times 1,22 \times 1,10 \times 1 \times 0,34 + 82 \times 14,48 \times 1,21 \times 1,06 \times 1 \times 0,42 + 0,5 \times 18 \times (18,8-10) \times$$
$$16,46 \times 0,84 \times 1 \times 1 \times 0,42 = 639,61 + 459,91 = 1099,52 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 1099,52/2,3 = \mathbf{478,05 \text{ kN/mq} = q_{ult} = \text{Portanza in Condizioni drenate con Punz (Vesic)}}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5,14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' \psi_c + q = 5,14 \times 10,0 \times 1,08 \times 1,088 \times 1 \times 1,00 + 82,0 = 142,39 \text{ kN/mq} =$$
$$q_{ult}u$$

$$\mathbf{q_{ult}u/R3=142,39/2,3= 61,91 \text{ kN/mq}=q_{ult}=\text{Portanza in Condizioni non drenate con Punz (Vesic)}}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | Stratigrafia | Grafico | Laboratorio

Larghezza (B) 18.0000 Procedura Portanza limite drenata

Lunghezza 45.0000 Risultato 497.229

Carico 130.000 Calcola

Fattori intermedi di calcolo

OK

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 497.229 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $q_{ult} = 478.05 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 3.8% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18), "Lunghezza" (45), and "Carico" (130). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite non drenati". The "Risultato" field displays "61.9332". A "Calcola" button is visible below the result. A large empty rectangular area is on the right, and a scrollable area labeled "Fattori intermedi di calcolo" is at the bottom left. An "OK" button is at the bottom right.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 61.91 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 61.93 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è dello 0.03% circa, che si considera totalmente accettabile.

EC7 con Punzonamento

Portanza in Condizioni drenate

$$q_{ult} = c' N_c s_c d_c i_c \psi_c + q N_q s_q d_q i_q \psi_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \psi_\gamma =$$
$$= 10 \times 25.35 \times 1.02 \times 1 \times 1 \times 0.34 + 82 \times 14.48 \times 1.187 \times 1 \times 1 \times 0.42 + 0.5 \times 18 \times (18.8 - 10) \times$$
$$14.33 \times 0.88 \times 1 \times 1 \times 0.42 = 591.94 + 419.28 = 1011.22 \text{ kN/mq} = q_{ult}'$$

$$q_{ult}'/R3 = 1011.22/2.3 = \underline{\underline{439.66 \text{ kN/mq}}} = \underline{\underline{q_{ult}}} = \underline{\underline{\text{Portanza in Condizioni drenate con Punz (EC7)}}$$

Portanza in Condizioni non drenate

$$q_{ult} = 5.14 c_u \times s_c' \times d_c' \times i_c' \psi_c + q = 5.14 \times 10.0 \times 1.08 \times 1 \times 1) \times 1.00 + 82.0 = 137.51 \text{ kN/mq} = q_{ultu}$$
$$\underline{\underline{q_{ultu}/R3 = 137.51/2.3 = 59.78 \text{ kN/mq}}} = \underline{\underline{q_{ult}}} = \underline{\underline{\text{Portanza in Condizioni non drenate con Punz (EC7)}}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | Stratigrafia | Grafico | Laboratorio

Larghezza (B) 18.0000 Procedura Portanza limite drenata

Lunghezza 45.0000 Risultato 455.800

Carico 130.000

Calcola

Fattori intermedi di calcolo

OK

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 455.80 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $q_{ult} = 439.60 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è del 3.5% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a menu bar containing "Opzioni", "Coefficienti", "Fondazioni", "Stratigrafia", "Grafico", and "Laboratorio". The main area contains input fields for "Larghezza (B)" (18.0000), "Lunghezza" (45.0000), and "Carico" (130.000). A "Procedura" dropdown menu is set to "Portanza limite non drenati". The "Risultato" field displays "59.7878". A "Calcola" button is visible below the result. A section titled "Fattori intermedi di calcolo" contains an empty scrollable area. An "OK" button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $q_{ult} = 59.78 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a $q_{ult} = 59.78 \text{ kN/m}^2$

I due risultati coincidono.

Calcolo resistenza a Scorrimento

La tensione limite di scorrimento in condizioni drenate è data dalla relazione:

$$s_{ult} = c' + \sigma_v \tan (\varphi)$$

con σ_v pressione ortogonale al piano di scorrimento.

La tensione limite di scorrimento in condizioni non drenate è data dalla relazione:

$$s_{ult} = cu$$

Andiamo a calcolare la tensione di scorrimento ultima nelle due condizioni.

Condizioni drenate:

$$S = [c' + \sigma_v \tan (\varphi)]/R3 = [0,00 + 130 \times \tan (28)]/2,3 = \mathbf{30,05 \text{ kN/m}^2}$$

Condizioni non drenate:

$$S = cu/R3 = 10,0/2,3 = \mathbf{4,34 \text{ kN/m}^2}$$

Risultati: NUANS

Condizioni drenate

The screenshot shows the 'Verifiche geotecniche' software interface. The window title is 'Verifiche geotecniche'. The interface includes a menu bar with 'Opzioni', 'Coefficienti', 'Fondazioni', 'Stratigrafia', 'Grafico', and 'Laboratorio'. The main area contains input fields for 'Larghezza (B)' (18.0000), 'Lunghezza' (45.0000), and 'Carico' (130.000). A 'Procedura' dropdown menu is set to 'Scorrimento limite drenato', and the 'Risultato' field displays '30.0531'. A 'Calcola' button is visible. Below the input fields is a section for 'Fattori intermedi di calcolo' with an empty list box. An 'OK' button is located at the bottom right of the window.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $\underline{S}_{ult} = 30.05 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $\underline{S}_{ult} = 30.05 \text{ kN/m}^2$

I due risultati coincidono

Condizioni non drenate

Verifiche geotecniche

Opzioni | Coefficienti | Fondazioni | Stratigrafia | Grafico | Laboratorio

Larghezza (B) 18.0000 Procedura Scorrimento limite non drer

Lunghezza 45.0000 Risultato 4.34783

Carico 130.0000 Calcola

Fattori intermedi di calcolo

OK

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma = $\underline{S}_{ult} = 4.34 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente è pari a = $\underline{S}_{ult} = 4.34 \text{ kN/m}^2$

I due risultati coincidono.

7 CALCOLO PORTANZA PER FONDAZIONI PROFONDE (PALI DI FONDAZIONE)

Portanza ai carichi verticali

La portanza dei pali di fondazione è costituita da due contributi, il primo è la portanza alla punta del palo, e l'altro è la portanza per attrito laterale palo-terreno.

La relazione generale è:

$$Q_{ult} = P_{max} \times A_{palo} + \pi D_{palo} \times \int_0^L S_{max} dz$$

A_{palo} = Area sezione del Palo

D_{palo} = Diametro del palo

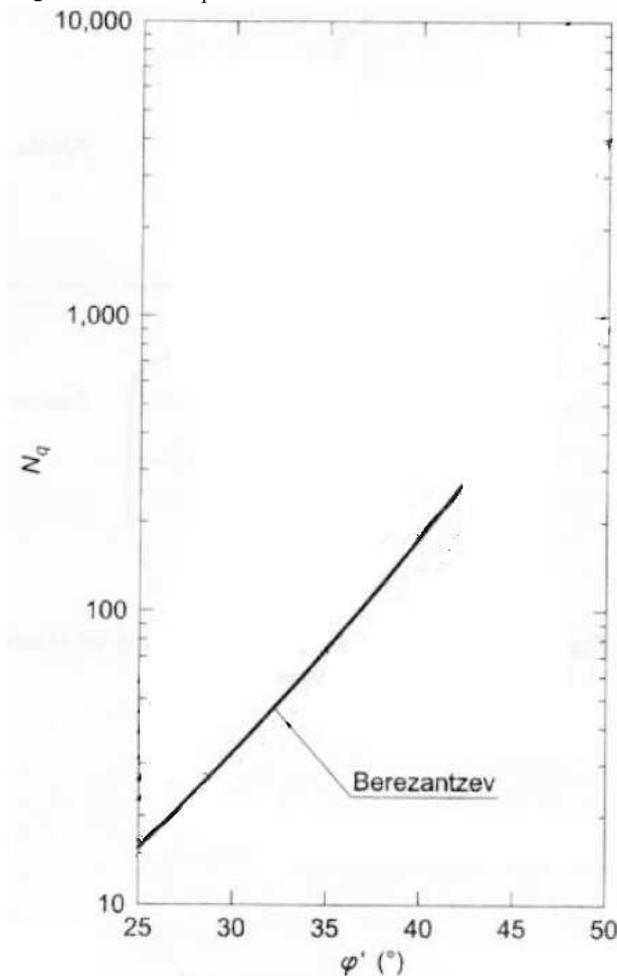
P_{max} è la portanza alla punta ed è valutata nel seguente modo:

Portanza alla punta in Condizioni drenate

$$P_{max} = \gamma' \times L \times N_q$$

γ' = peso specifico efficace del terreno

Il parametro N_q viene determinato in funzione di φ' sull'abaco di Berezantzev riportato sotto



Portanza alla punta in Condizioni non drenate

$$P_{\max} = 9 \times c_u + \gamma' \times L \times 1$$

γ' = peso specifico efficace del terreno

S_{\max} è la portanza laterale ed è valutata nel seguente modo:
Portanza laterale in Condizioni drenate

$$S_{\max} = \sigma' h \times \tan \delta$$

δ = angolo di attrito palo-terreno può al massimo essere assunto pari all'angolo φ

$\sigma' h$ = tensione orizzontale efficace valutata nel seguente modo = $\sigma' v \times K$

ove K è posto generalmente pari a:

Per pali trivellati:

$$k_a = (1 - \sin(\varphi)) / (1 + \sin(\varphi))$$

Per pali infissi:

$$k_p = (1 + \sin(\varphi)) / (1 - \sin(\varphi))$$

O un valore differente a seconda della tecnologia di palo utilizzata.

Portanza laterale in Condizioni non drenate

$$S_{\max} = \alpha \times c_u$$

α è un coeff empirico che dipende dal tipo di terreno, dalla coesione non drenata, dal metodo di costruzione del palo, dai tempi, dalla profondità, dal cedimento del palo.

L'Associazione Geotecnica Italiana suggerisce di assumere i seguenti valori:

Tabella 17.5 - Valori indicativi del coefficiente di aderenza α per pali in terreni coesivi saturi

Tipo di palo	Materiale	c_u (kPa)	α	$\alpha c_{u,max}$ (kPa)
Infisso (senza asportazione di terreno)	Calcestruzzo	≤ 25	1	120
		25 - 50	0,85	
		50 - 75	0,65	
		> 75	0,50	
	Acciaio	≤ 25	1	100
		25 - 50	0,80	
		50 - 75	0,65	
		> 75	0,50	
Trivellato (con asportazione di terreno)	Calcestruzzo	≤ 25	0,90	100
		25 - 50	0,80	
		50 - 75	0,60	
		> 75	0,40	

L'Associazione Americana del Petrolio (A.P.I., 1984) consiglia di utilizzare la seguente relazione (c_u in kPa):

$$\begin{aligned}
 c_u < 25 & \quad \alpha = 1 \\
 25 < c_u < 75 & \quad \alpha = -0,01 c_u + 1,25 \\
 75 < c_u & \quad \alpha = 0,5
 \end{aligned}$$

Altri autori (Viggiani, 1999) suggeriscono invece (c_u in kPa):

per pali battuti:

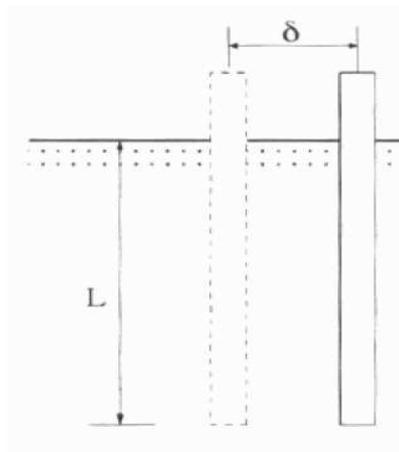
$$\begin{aligned}
 c_u < 25 & \quad \alpha = 1 \\
 25 < c_u < 70 & \quad \alpha = 1 - 0,011 (c_u - 25) \\
 70 < c_u & \quad \alpha = 0,5
 \end{aligned}$$

per pali trivellati:

$$\begin{aligned}
 c_u < 25 & \quad \alpha = 0,7 \\
 25 < c_u < 70 & \quad \alpha = 0,7 - 0,008 (c_u - 25) \\
 70 < c_u & \quad \alpha = 0,35
 \end{aligned}$$

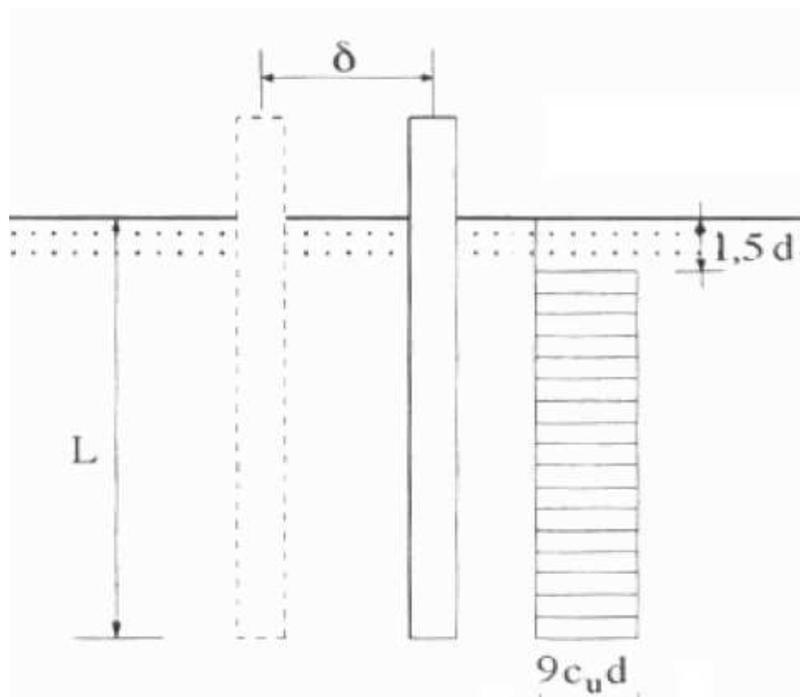
Portanza ai carichi orizzontali

Per la valutazione della portanza dei pali rispetto ai carichi orizzontali si utilizza la teoria di Broms per il caso di pali che subiscono traslazioni rigide orizzontali.



In tali condizioni la portata viene valutata secondo i seguenti schemi:

Portanza in condizioni non drenate:



In condizioni non drenate la risposta orizzontale del terreno è valutata nel seguente modo:

d = diametro del palo

Risultante della Portanza orizzontale in Condizioni non drenate

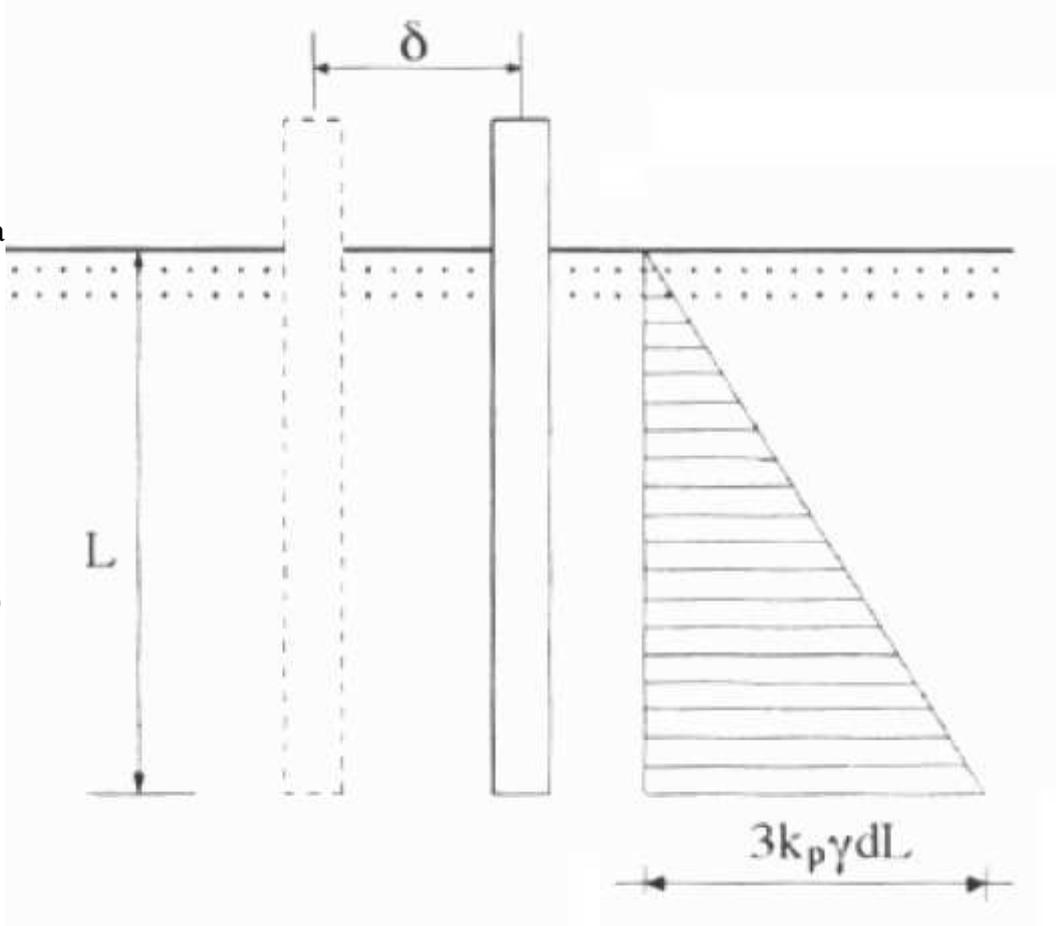
$$H_{\max} = (9 \times c_u \times d) \times (L - 1,5 d)$$

Portanza in condizioni drenate:

In condizioni drenate la risposta orizzontale del terreno è valutata nel seguente modo:

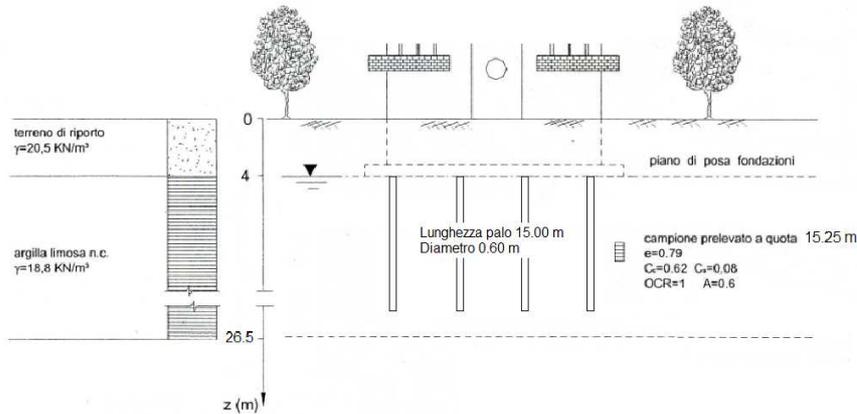
Risultante della Portanza orizzontale in Condizioni drenate

$$H_{max} = (3 \times K_p \times \sigma'_{base\ palo} \times d) \times (L/2)$$



8 CASO DI PROVA 1 PORTANZA PALI

8.1 Dati di progetto



Elenco dei Dati:

Profondità della falda: - 4.0 m

Strato 1: Terreno di riporto

Peso unità di volume = $\gamma = 20,5$

Strato 2: Argilla limosa n.c. (normalmente consolidata)

Campione prelevato a quota -15,25 m

Peso unità di volume = $\gamma = 18,8$

Angolo di attrito = $\varphi = 28^\circ$

Indice dei vuoti = $e = 0,79$

Grado di consolidazione = $OCR = 1,0$

Indice di compressibilità = $C_c = 0,62$

Indice di rigonfiamento = $C_s = 0,08$

Modulo elastico in condizioni non drenate = $E_u = 3,2 \text{ Mpa}$

Modulo elastico in condizioni drenate = $E' = 2,8 \text{ Mpa}$

Coefficiente di poisson = $\nu = 0,3$

Modulo Edometrico = $E'_x[(1-\nu')]/(1-\nu-2\nu'^2)] = 2,8 \times [(1-0,3)/(1-0,3-2 \times 0,3^2)] = 3,76 \text{ Mpa} = E_{ed}$

Dati palo:

Lunghezza palo = $L = 15,0 \text{ m}$

Diametro = $D = 0,60 \text{ m}$

Carico scaricato in fondazione = $N = 600 \text{ kN}$

Tipologia palo: Trivellato

Applicheremo l'Approccio 2

Approccio di verifica	
Approccio	2
Combinazione 1	A1+M1+R3
Combinazione 2	-
Aggiorna	

Coefficients gamma in combinazione A			
		A1	A2
Permanente	Favorevole	1,0	1,0
	Sfavorevole	1,3	1,0
Permanente non strutt	Favorevole	0,0	0,0
	Sfavorevole	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	0,0	0,0
	Sfavorevole	1,5	1,3

Coefficients parziali M parametri terreno		
	M1	M2
Tangente angolo resist. Taglio	1,0	-
Coesione efficace	1,0	-
Resistenza non drenata	1,0	-
Peso dell'unità di volume	1,0	-

Fattori sic. fondaz superficiali R			
	R1	R2	R3
Capacità portante	-	-	2,30
Scorrimento	-	-	1,1

Fattori sic. fondaz profonde R			
Tipo palo	Infisso		
	R1	R2	R3
Base	-	-	1,15
Laterale in compressione	-	-	1,15
Laterale in trazione	-	-	1,25
Azioni trasversali	-	-	1,3

Fattori sic. fondaz profonde R			
Tipo palo	Trivellato		
	R1	R2	R3
Base	-	-	1,35
Laterale in compressione	-	-	1,15
Laterale in trazione	-	-	1,25
Azioni trasversali	-	-	1,3

Fattori sic. fondaz profonde R			
Tipo palo	Ad elica continua		
	R1	R2	R3
Base	-	-	1,3
Laterale in compressione	-	-	1,15
Laterale in trazione	-	-	1,25
Azioni trasversali	-	-	1,3

Validi solo per i pali

Coeff. moltiplicatori dei Fattori R in funzione delle verticali indagate	
ξ_4	1,7

Con tale approccio i coefficienti che dovremo applicare nel nostro caso sono gli R3 relativi ai pali infissi ed il coefficiente ξ_4 funzione delle verticali indagate (nel nostro caso è 1 verticale).

- (b) Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ (o $R_{t,k}$) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ ($R_{t,cal}$) i fattori di correlazione ξ riportati nella Tab. 6.4.IV, in funzione del numero n di verticali di indagine:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (6.2.10)$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (6.2.11)$$

Tabella 6.4.IV – Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Calcolo della portanza verticale del Palo in condizioni non drenate.

La relazione generale è:

$$\underline{Q_{ult}} = P_{max} \times A_{palo} + \pi D_{palo} \times \int_0^L S_{max} dz$$

$$A_{palo} = \text{Area sezione del Palo} = 3.14 \times (0.60/2)^2 = 0.2826 \text{ m}^2$$

$$D_{palo} = \text{Diametro del palo} = 0.60 \text{ m}$$

Portanza alla punta in Condizioni non drenate

$$P_{max} = 9 \times c_u + \gamma' \times L = 9 \times c_u + \gamma' \times L \times 1 = 9 \times 10.0 + 8.80 \times 15.0 = 90.0 + 132 = 222.00 \text{ kN/m}^2 = P_{max}$$

Portanza laterale in Condizioni non drenate

$$S_{max} = \alpha \times c_u$$

α avendo noi una $c_u < 25$, lo assumeremo pari a 1

$$S_{max} = 1 \times 10 = 10.0 \text{ kN/m}^2$$

Portanza totale in condizioni non drenate

$$\begin{aligned} \underline{Q_{ult}} &= (P_{max} \times A_{palo}) / (R_{3A} \times \xi_4) + (\pi D_{palo} \times \int_0^L S_{max} dz) / (R_{3B} \times \xi_4) = \\ &= (222.0 \times 0.2826) / (1.35 \times 1.70) + (3.14 \times 0.60 \times 10 \times 15.0) / (1.15 \times 1.70) = \\ &= \mathbf{62.73/2.29} + \mathbf{282.60/1.955} = \mathbf{171.94 \text{ kN}} = \underline{\underline{Q_{ult} \text{ palo C.N.D.}}} \end{aligned}$$

Calcolo della portanza verticale del Palo in condizioni drenate.

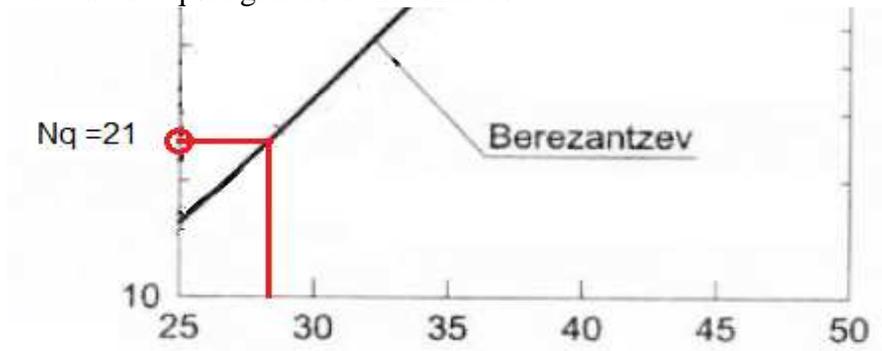
La relazione generale è:

$$Q_{ult} = P_{max} \times A_{palo} + \pi D_{palo} \times \int_0^L S_{max} dz$$

$$A_{palo} = \text{Area sezione del Palo} = 3.14 \times (0.60/2)^2 = 0.2826 \text{ m}^2$$

D_{palo} = Diametro del palo = 0.60 m

Valutiamo N_q sul grafico di Berezantzev:



Portanza alla punta in Condizioni drenate

$$P_{max} = \gamma' \times L \times N_q = 8.8 \times 15.0 \times 21 = 2772.00 \text{ kN/m}^2$$

Portanza laterale in Condizioni drenate

$$S_{max} = \sigma' h \times \tan \delta$$

δ = angolo di attrito palo-terreno può al massimo essere assunto pari all'angolo $\varphi = 28^\circ$

come valore di K avendo pali trivellati assumeremo $K = K_a = (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) =$

$$= (1 - \sin 28) / (1 + \sin 28) = 0.53 / 1.469 = 0.36 = K$$

$\sigma' h$ = tensione orizzontale efficace, dato che il palo è posto in un unico strato di terreno, andremo a calcolare la tensione a metà della lunghezza del palo (punto A), e la considereremo costante sulla sua lunghezza:

$$\sigma_v r = \text{tensione al piede dello strato di riporto} = \text{griporto} \times h \text{ rip} = 20,5 \times 4 = 82,0 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma_v A = \sigma_v r + \gamma \text{ argilla} \times z_A = 82,0 + 18,8 \times 7.5 = 141,00 \text{ kN/mq}$$

Calcolo pressioni dell'acqua e tensioni efficaci

$$u_i = \gamma_w \times z_i \quad \rightarrow \quad \sigma'_i = \sigma_{vi} - u_i$$

$$u_A = 10 \times 7.5 = 75.0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_{vA} = 141.00 - 75.0 = 66.0 \text{ kN/mq}$$

$$\sigma' h = K \times \sigma'_{vA} = 0.36 \times 66.0 = 23.76 \text{ kN/m}^2$$

Portanza laterale in Condizioni drenate

$$S_{\max} = \sigma' h \times \tan \delta = 23.76 \times \tan 28 = 12.63 \text{ kN/m}^2$$

Portanza totale in condizioni drenate

$$Q_{\text{ult}} = (P_{\max} \times A_{\text{palo}}) / (R_{3A} \times \xi_4) + (\pi D_{\text{palo}} \times \int_0^L S_{\max} dz) / (R_{3B} \times \xi_4) =$$

$$= (2772.0 \times 0.2826) / (1.35 \times 1.70) + (3.14 \times 0.60 \times 12.63 \times 15.0) / (1.15 \times 1.70) =$$

$$= 783.36 / 2.29 + 356.92 / 1.955 = 523.90 \text{ kN} = \underline{Q_{\text{ult palo C.D.}}}$$

Calcolo della portanza orizzontale

Risultante della Portanza orizzontale in Condizioni non drenate

$$H_{\max} = (9 \times c_u \times d) \times (L - 1.5 d) / (R_{3D} \times \xi_4) = (9 \times 10 \times 0.6) \times (15 - 1.5 \times 0.6) / (1.3 \times 1.70) =$$

$$= 761.4 / 2.21 = 344.52 \text{ kN} = \underline{H_{\max \text{ C.N.D.}}}$$

Risultante della Portanza orizzontale in Condizioni drenate

$$H_{\max} = (3 \times K_p \times \sigma'_{\text{base palo}} \times d) \times (L/2)$$

$$K_p = (1 + \sin(\phi)) / (1 - \sin(\phi)) = (1 + \sin(28)) / (1 - \sin(28)) = 2.76 = \underline{K_p}$$

Tensione efficace alla base del palo riferite al piano di fondazione:

$$\sigma_{\text{base palo}} = \gamma_{\text{argilla}} \times L = 18.8 \times 15 = 282.00 \text{ kN/mq}$$

Calcolo pressioni dell'acqua e tensioni efficaci

$$u_i = \gamma_w \times z_i \quad \rightarrow \quad \sigma'_i = \sigma_{vi} - u_i$$

$$u_A = 10 \times 15.0 = 150.0 \text{ kN/mq} \quad \rightarrow \quad \sigma'_{\text{base palo}} = 282 - 150.0 = 132.00 \text{ kN/mq}$$

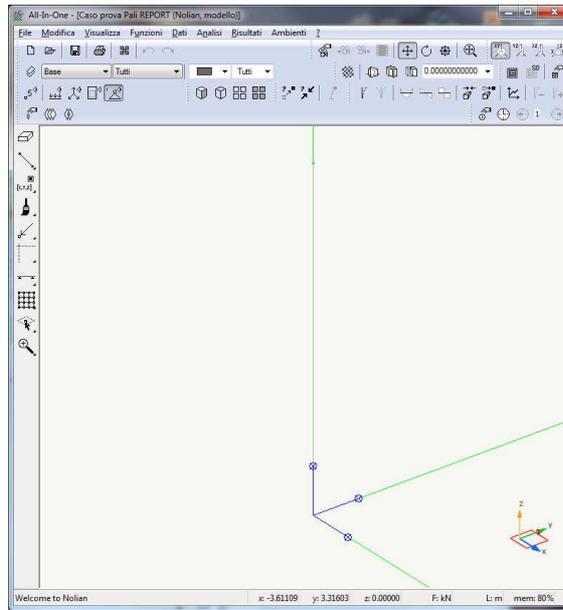
$$H_{\max} = [(3 \times K_p \times \sigma'_{\text{base palo}} \times d) \times (L/2)] / (R_{3D} \times \xi_4) = [(3 \times 2.76 \times 132.0 \times 0.6) \times (15/2)] / (1.3 \times 1.70) =$$

$$= 4918.32 / 2.21 = 2225.48 \text{ kN} = \underline{H_{\max \text{ C.D.}}}$$

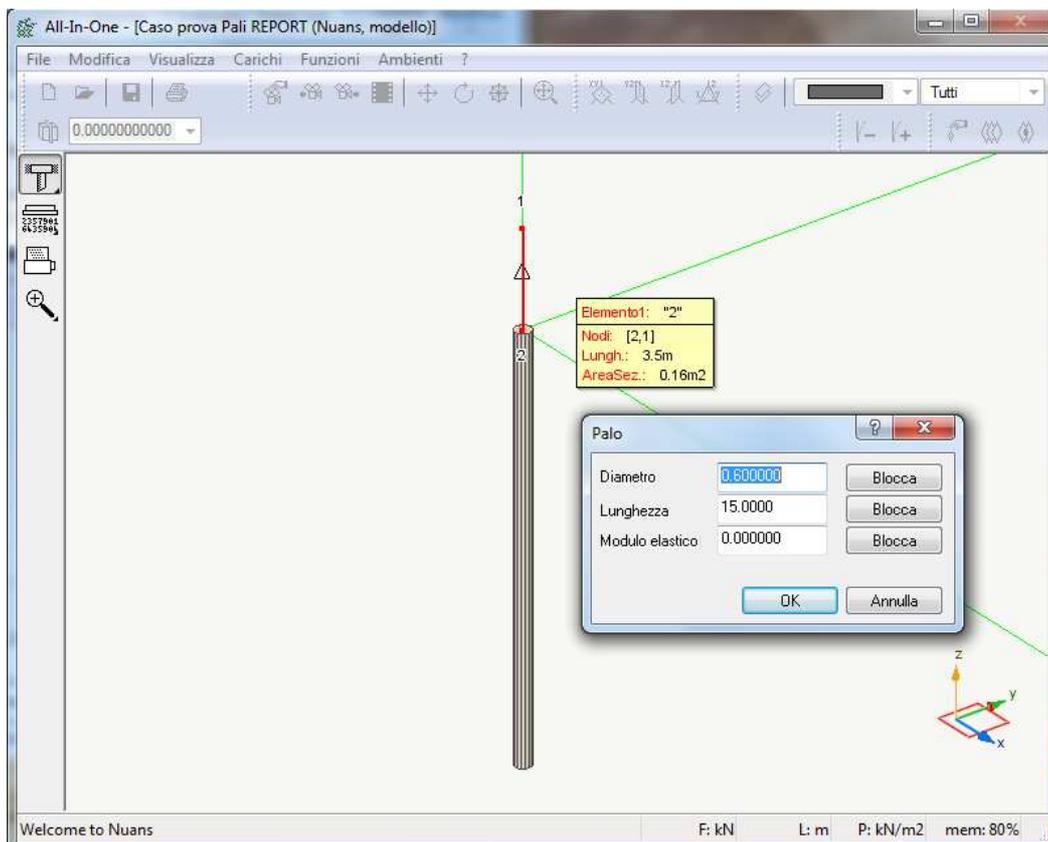
8.1.1 Modello geotecnico di verifica del palo assegnato in NUANS

Utilizzando l'ambiente di modellazione verrà calcolata la portanza del palo.

Il modello strutturale è costituito da un pilastro incastrato alla base con un carico verticale di compressione pari a 100 kN più il peso proprio, ed un carico orizzontale in direzione Y pari a 20 kN.

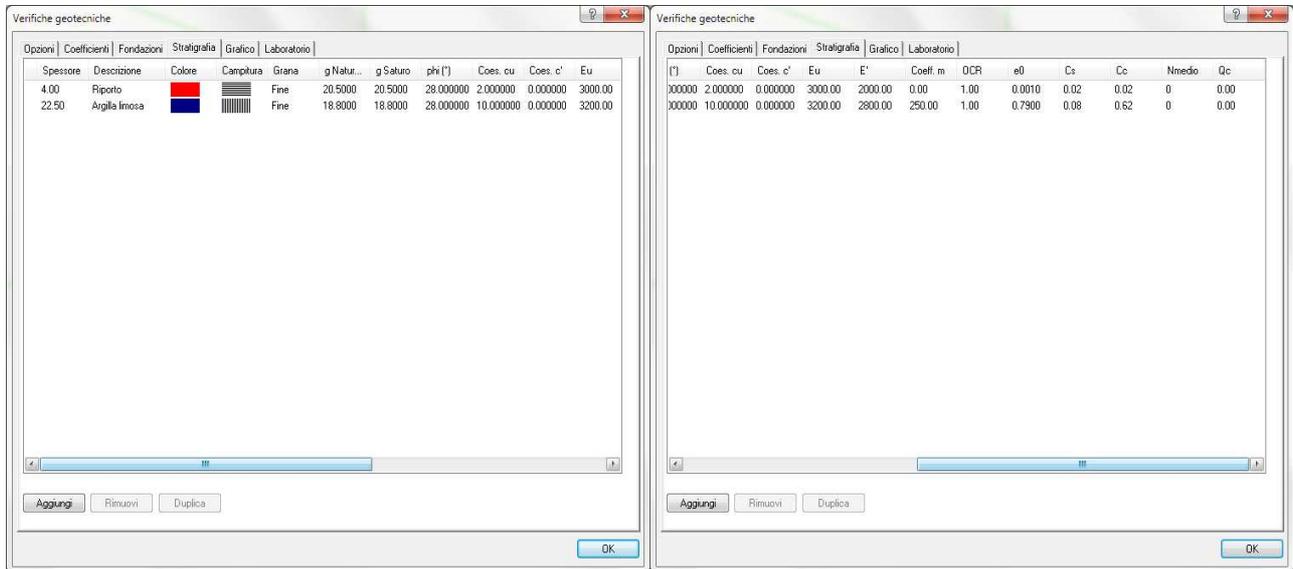


In NUANS sono stati assegnati i dati del palo:

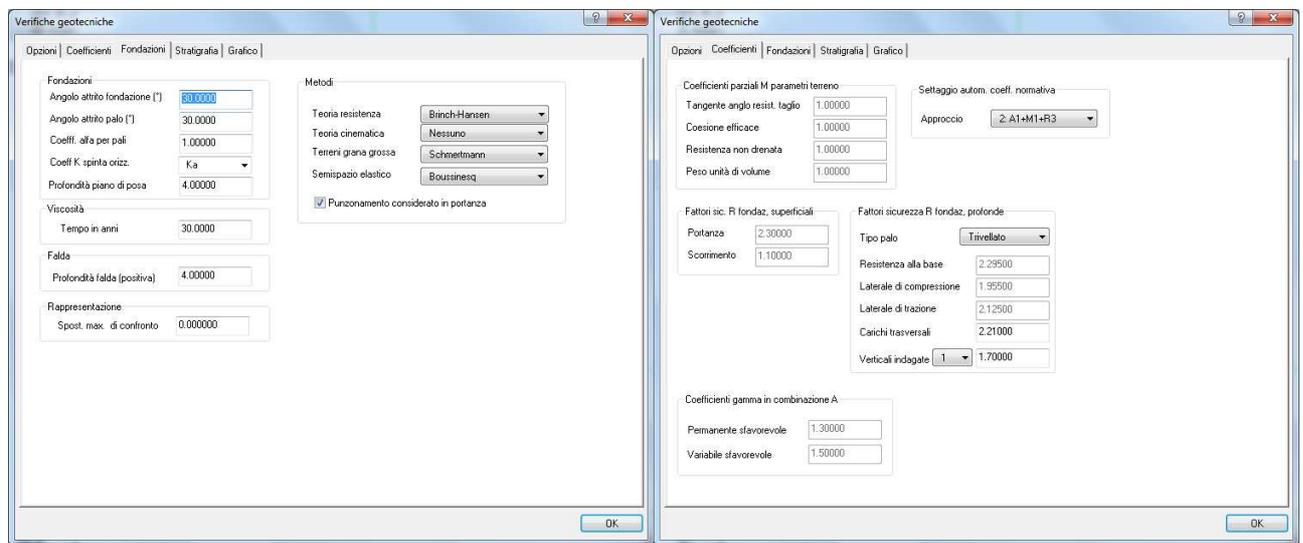


Vengono riportate le impostazioni generali assegnate in NUANS:

Stratigrafia (Unità di misura correnti: m, kN):



Impostazioni di calcolo:



viene utilizzato l'Approccio 2, mentre la teoria utilizzata per il calcolo della portanza verticale dei i pali è esclusivamente quella di Berezantzev, mentre per la portanza orizzontale è esclusivamente quella di Broms.

Risultati: NUANS
Portanza verticale
Condizioni drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a "Sforzi" tab. It displays the following data:

Verifiche geotecniche	
Combinazione Geo	Più gravosa
Combinazione SLE	Più gravosa
Cedimenti	
Cedimento elastico	0.02949595
Combinazione di carico	
	1
Resistenza	
Carico assiale	252.17869
Portanza	563.56230
Fattore sicurezza	2.2347737
Resistenza laterale	
Forza di taglio	26.000000
Resistenza laterale	2282.4789
Fattore sicurezza	>10.0

Additional settings: Drenato, Non drenato. An "OK" button is located at the bottom right.

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma per la portanza verticale = $q_{ult} = 563.56 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente per la portanza verticale è pari a = $q_{ult} = 523.90 \text{ kN}$

La differenza riscontrata è del 7% circa, che si considera totalmente accettabile.

Valore calcolato dal programma per la portanza orizzontale = $q_{ult} = 2282.47 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente per la portanza orizzontale è pari a = $q_{ult} = 2225.48 \text{ kN}$

La differenza riscontrata è del 2.5% circa, che si considera totalmente accettabile.

Condizioni non drenate

The screenshot shows a software window titled "Verifiche geotecniche" with a "Sforzi" tab. It displays the following data:

Verifiche geotecniche	
Combinazione Geo	Più gravosa
Combinazione SLE	Più gravosa
Cedimenti	
Cedimento elastico	0.02949595
Combinazione di carico	
	1
Resistenza	
Carico assiale	252.17869
Portanza	172.33339
Fattore sicurezza	0.68337811
Resistenza laterale	
Forza di taglio	26.000000
Resistenza laterale	344.52489
Fattore sicurezza	>10.0

Options: Drenato, Non drenato

OK

NUANS restituisce una portanza pari a:

Valore calcolato dal programma per la portanza verticale = $q_{ult} = 172.33 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente per la portanza verticale è pari a $q_{ult} = 171.94 \text{ kN/m}^2$

La differenza riscontrata è dello 0.2% circa, che si considera totalmente accettabile.

Valore calcolato dal programma per la portanza orizzontale = $q_{ult} = 344.52 \text{ kN/m}^2$

Il Valore calcolato manualmente per la portanza orizzontale è pari a $q_{ult} = 344.52 \text{ kN/m}^2$

I due valori coincidono.