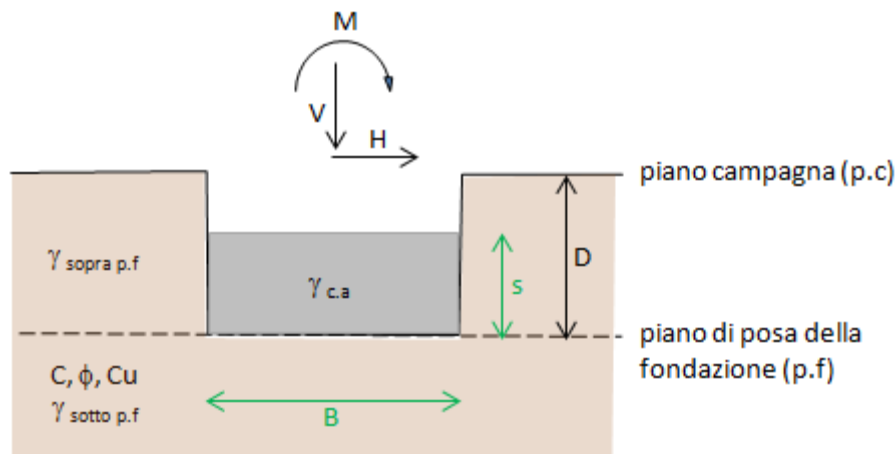


VERIFICA DI UNA FONDAZIONE (NTC 2008)

ESERCITAZIONE PER LA QUARTA PROVA DELL' ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE | Autore: Marina Roma



Il presente documento riporta lo svolgimento di un esercizio di geotecnica relativo alla verifica statica secondo le norme tecniche sulle costruzioni del 2008 di una fondazione superficiale quadrata soggetta a carichi verticali, orizzontali e momento. Nell'elaborato sono illustrate tutte le fasi che portano alla verifica della fondazione in oggetto: dalla determinazione dei valori caratteristici e di progetto dei parametri geotecnici del terreno, al trasferimento dei carichi dal piano di campagna al piano di posa della fondazione; dal calcolo del carico limite o capacità portante del terreno di fondazione, alla sua trasformazione in resistenza di progetto (R_d); dalla determinazione dell'azione di progetto (E_d) per lo SLU, alle verifiche vere e proprie, in condizioni drenate (verifica a lungo termine), non drenate (a breve termine) e comprensiva della verifica dello scorrimento; dalla determinazione dell'azione di progetto per lo SLE, al calcolo dei cedimenti secondo il metodo edometrico e confronto col cedimento massimo ammesso. Per una miglior comprensione dell'esercizio, in giallo sono stati evidenziati i dati di input del problema, in verde i risultati principali ed in azzurro i coefficienti di sicurezza parziali previsti dalle NTC (variabili a seconda dell'approccio progettuale adottato). Lo stesso esercizio, infatti, è stato svolto seguendo prima l'approccio progettuale 2 ($A1 + M1 + R3$) come da traccia e, successivamente, con la combinazione 2 dell'Approccio 1 ($A2 + M2 + R2, GEO$). Segue un'appendice con alcuni richiami teorici sulla verifica di fondazioni in generale.

Testo dell'esercizio

Si richiede di effettuare la verifica geotecnica in condizioni statiche di una fondazione quadrata in cemento armato di lato 5m e spessore 2m, posta a 3.2m di profondità dal piano campagna secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) delle NTC 2008. I carichi agenti al piano campagna ed i parametri geotecnici del terreno ricavati dalle prove di laboratorio sono riportati nelle tabelle sottostanti (falda assente). Nello svolgere la verifica allo stato limite di esercizio si consideri un modulo edometrico pari a 6000 kPa ed un cedimento massimo ammesso per l'opera di 15 cm.

Dati di input sui carichi (riferiti al p.c)	permanente	variabile
forza verticale V (KN):	1335.28	13.35
forza orizzontale H (KN):	599.64	11.99
momento M (KNm):	61.82	5.15

Proprietà del terreno

Dati grezzi					media	dev.st
γ (kN/m ³)	16.90	17.20	17.70	17.50	17.33	0.35
C (kPa)	58.47	38.00	66.00	71.00	58.37	14.52
ϕ (°)	33.00	21.00	27.00	30.00	27.75	5.12
Cu (kPa)	112.00	211.82	146.00	127.00	149.21	44.00

Svolgimento dell'esercizio - INDICE

Parametri geotecnici del terreno: passaggio dai valori nominali ai caratteristici (k)	3
Parametri geotecnici terreno: passaggio da valori caratteristici (k) ai valori di progetto (d)	3
Trasferimento dei carichi dal piano campagna al piano di posa della fondazione.....	3
Verifica allo stato limite ultimo (SLU)	6
Calcolo della capacità portante	6
Calcolo della resistenza di progetto (Rd)	6
Azione di progetto per la verifica allo SLU	7
Verifica allo SLU a breve e a lungo termine.....	8
Verifica allo stato limite d'esercizio (SLE)	8
Azione di progetto per la verifica allo SLE.....	8
Calcolo del cedimento del terreno di fondazione (metodo edometrico)	9
Verifica allo SLE.....	10
Appendice	11
Richiami teorici.....	11
Svolgimento stesso esercizio ma seguendo l'APPROCCIO 1 COMB.2 (GEO) A2+M2+R2.....	16

Verifica allo SLU

Calcolo della capacità portante

Si utilizza la trinomia di Terzaghi arricchita con i vari fattori correttivi di forma, inclinazione del carico, etc. proposti da altri Autori. La capacità portante va valutata sia a breve (condizioni non drenate) che a lungo termine (condizioni drenate). Si riportano di seguito le espressioni per il calcolo dei sopracitati fattori correttivi per le due situazioni, insieme ai fattori di capacità portante N_c , N_q e N_γ .

Fattori di capacità portante

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

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

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

Fattori correttivi di forma

$$s_c = 1 + (N_q/N_c) (B'/L')$$

$$s_q = 1 + \tan \phi' (B'/L')$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 (B'/L')$$

Fattori correttivi di inclinazione carico

$$i_c = i_q - [(1 - i_q)/(N_c \tan \phi')]$$

$$i_q = [1 - (H/V + B' L' c' \cot \phi')]^m$$

$$m = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')]$$

$$i_\gamma = [1 - (H/V + B' L' c' \cot \phi')]^{(m+1)}$$

Fattori correttivi di approfondimento

$$d_c = d_q - [(1 - d_q)/(N_c \tan \phi')]$$

$$d_q = 1 + [2 (D/B') \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2] \quad \text{se } D/B' < 1$$

$$d_q = 1 + [2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \arctan (D/B')] \quad \text{se } D/B' > 1$$

Nel caso in esame $D/B = 0.91$

Fattori correttivi di inclinazione fondazione

$$b_c = b_q - [(1 - b_q)/(N_c \tan \phi')]$$

$$b_q = (1 - \alpha \tan \phi')^2$$

$$b_\gamma = (1 - \alpha \tan \phi')^2$$

Fattori correttivi di inclinazione piano campagna

$$g_c = g_q - [(1 - g_q)/(N_c \tan \phi')]$$

$$g_q = (1 - \tan \omega)^2$$

$$g_\gamma = (1 - \tan \omega)^2$$

Breve termine	Lungo termine
5.14	18.774
1	9.198
	8.907
1.136	1.343
	1.306
	0.720
1	0.743
1	0.771
2.792	1.588
	0.654
1	1.323
1	1.287
1	1.233
1	1.287
1	1
1	1
	1
1	1
1	1
	1

Con questi valori si calcola la capacità portante, che risulta essere pari a:

>> **A breve termine (Relazione Brinch - Hansen)**

$$q_{lim} = C_u N_{c0} s_{c0} i_{c0} d_{c0} b_{c0} g_{c0} + \gamma D \quad (\text{KN/m}^2)$$

668.67 KN/m²

>> **A lungo termine (Relazione Brinch - Hansen)**

$$q_{lim} = c' N_c s_c i_c d_c b_c g_c + \gamma D N_q s_q i_q d_q b_q g_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma b_\gamma g_\gamma \quad (\text{KN/m}^2)$$

1857.25 KN/m²

Calcolo della resistenza di progetto (Rd)

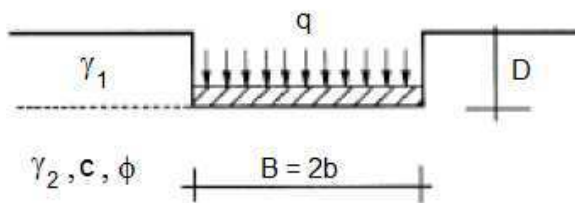
E' sufficiente moltiplicare tali valori per l'area efficace della fondazione e dividere il valore ottenuto per il coefficiente di sicurezza parziale per le resistenze che, per l'approccio prescelto, è: $\longrightarrow R_3$

e che risulta pari a:

2.3 nella verifica di capacità portante

1.1 nella verifica dello scorrimento

VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE per fondazione nastriforme

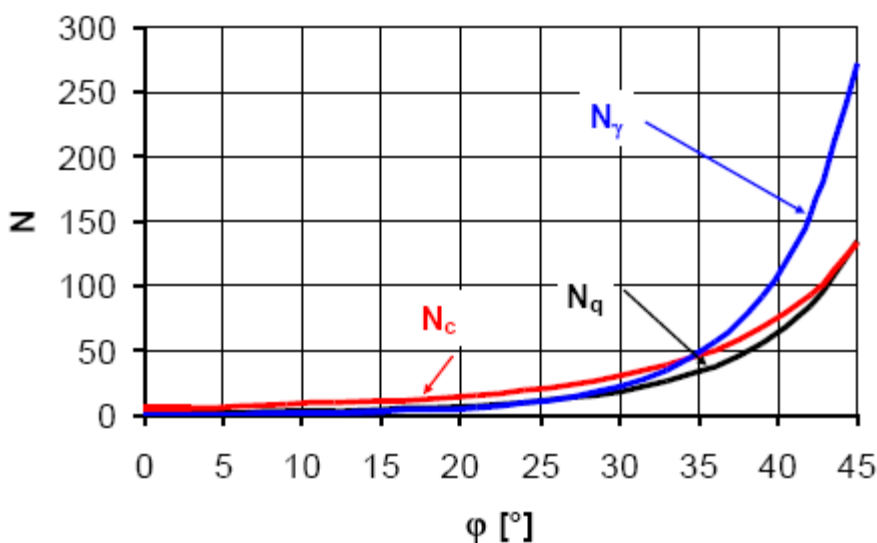


$$Q_{lim} = c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma$$

Nell'espressione della Q_{lim} :

- $c \cdot N_c$ è il termine relativo alla coesione; è il contributo alla capacità portante dato dalle forze di coesione agenti lungo la superficie di rottura;
- $\gamma_1 \cdot D$ è il sovraccarico; rappresenta il valore della tensione verticale efficace agente alla profondità del piano di posa della fondazione; moltiplicata per il coefficiente N_q rappresenta il contributo stabilizzante del sovraccarico agente ai lati della fondazione;
- $\frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B$ è il peso proprio; esprime un valore rappresentativo dello stato tensionale efficace all'interno del volume di terreno a rottura al di sotto del piano di posa; moltiplicato per N_γ rappresenta il contributo alla capacità portante dato dalle forze di attrito dovute al peso proprio del terreno interno alla superficie di scorrimento.
- γ_1 = peso di volume medio del terreno sopra il piano di posa;
- γ_2 = peso di volume sotto il piano di posa;
- B = larghezza della fondazione (lato corto);
- D = profondità di posa della fondazione;

$$Q_{lim} = \underbrace{c \cdot N_c}_{\text{Coesione}} + \underbrace{\gamma_1 \cdot D \cdot N_q}_{\text{sovraccarico}} + \underbrace{1/2 \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma}_{\text{peso proprio}}$$



Fattori adimensionali di portanza legati al contributo di terreni con coesione (N_c), al terreno posto sopra al piano di posa della fondazione (N_q) e agli strati di attrito (N_γ).

$$N_q = K_p \cdot e^{\pi \cdot \text{tg} \phi}$$

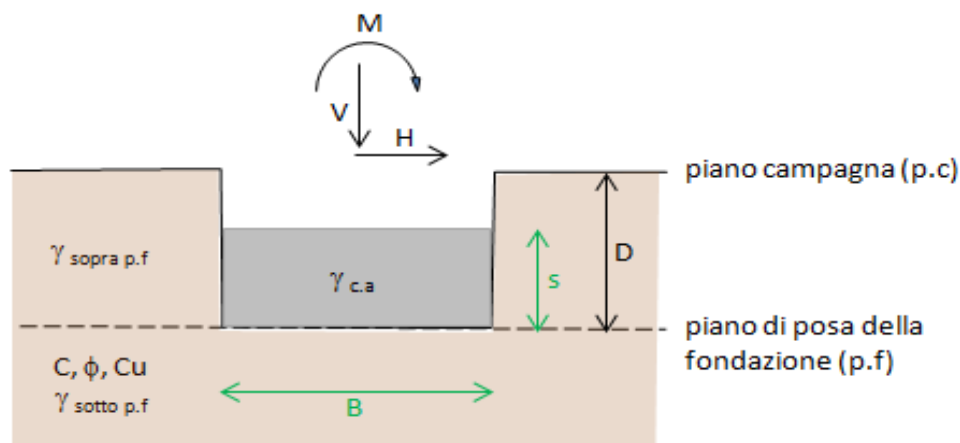
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi$$

Geometria della fondazione

Profondità del piano di posa	D (m):	3.2
Larghezza fondazione	B (m):	5
Lunghezza fondazione	L (m):	5
Spessore medio fondazione	s (m):	2
Spessore terreno sovrastante fondazione	h (m):	1.2
Peso di volume cemento armato	γ_a (KN/m ³)	25

STESSI DATI DELL'ESERCIZIO PRECEDENTE, SOLO CHE QUI SI RICHIEDE VERIFICA SECONDO L'APPROCCIO 1 COMB. 2 (GEO) CHE PREVEDE A2 + M2 + R2



Proprietà del terreno - valori nominali o sperimentali

Dati grezzi					media	dev.st
γ (kN/m ³)	16.90	17.20	17.70	17.50	17.33	0.35
C (kPa)	58.47	38.00	66.00	71.00	58.37	14.52
ϕ (°)	33.00	21.00	27.00	30.00	27.75	5.12
Cu (kPa)	112.00	211.82	146.00	127.00	149.21	44.00

γ = peso di volume; C = coesione efficace; Cu = coesione non drenata; ϕ = angolo d'attrito.

Proprietà del terreno - valori caratteristici e di progetto

	valore medio	dev.st	k *	M2	d **
γ (KN/m ³)	17.33	0.35	16.97	1	16.97
c' (KPa)	58.37	14.52	43.84	1.25	35.08
Cu (Kpa)	149.21	44.00	105.20	1.4	75.15
$\tan\phi'$	0.526	0.089	0.44	1.25	0.35
ϕ'	in radianti		0.336	in gradi	

* k = valori caratteristici dei parametri geotecnici

** d = valori caratteristici dei parametri geotecnici

PARAMETRO	Grandezza alla quale applicare γ_M	Coeff. parziale γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.0	1.0
Resistenza alla compressione uniassiale	qu	γ_{qu}	1.0	1.6

Tab. 6-12 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II, NTC 2008).