

**Comune di Roseto degli Abruzzi
Provincia di Teramo**

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

OGGETTO: Relazione geotecnica relativa al progetto "PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO E SISTEMAZIONE DEL CIMITERO CAPOLUOGO -V LOTTO - 1^ STRALCIO"

COMMITTENTE: Comune di Roseto degli Abruzzi

Il Progettista

(Dott. Ing. Gabriele Maggitti)

Il Direttore dei Lavori

(Dott. Ing. Gabriele Maggitti)

Dott. Ing. Gabriele Maggitti

via B. Cascella n. 3 - Roseto degli Abruzzi
085 8090512 -

Empty_GEN_16_03.4x02.5

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

La presente relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del "volume significativo" per l'opera in esame e valuta l'interazione opera / terreno ai fini del dimensionamento delle relative fondazioni.

Questa relazione è stata redatta dal tecnico sulla base dei dati risultanti dalle prove di campagna e/o di laboratorio.

2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"

Indicazioni progettuali per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

D. M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 - Suppl. Ord.)

"Norme tecniche per le Costruzioni"

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.)

"Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008";

Eurocodice 7 – "Progettazione geotecnica" - ENV 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

Sulla base di quanto dettagliato nella relazione geologica dell'area di sito, si è proceduto alla progettazione della campagna di indagini geognostiche finalizzate alla determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dal "volume significativo" dell'opera in esame.

3.1 Prove effettuate

Al fine della determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni coinvolti nel "volume significativo" dell'opera in esame, sono state condotte delle prove geotecniche, riassunte nella relazione geologica.

Le indagini realizzate hanno permesso di ricostruire le seguenti stratigrafie per ognuna delle quali sono state definite le proprietà geotecniche dei singoli terreni coinvolti.

Descrizione del terreno	Spessore Strato
-------------------------	-----------------

3.2 Idrogeologia

Tipologia di falda	Quota Piezometrica
Falda a pelo libero (o freatica)	Maggiore di 8,00 m

3.3 Problematiche riscontrate

Durante l'esecuzione delle prove e dall'elaborazione dei dati non sono emerse problematiche rilevanti alla realizzazione delle opere di fondazione.

4 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA, MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Le indagini effettuate, permettono di classificare il profilo stratigrafico, ai fini della determinazione dell'azione sismica, di categoria:

E [Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).], basandosi sulla valutazione della velocità delle onde di taglio (V_{S30}) e/o del numero di colpi dello Standard Penetration Test (N_{SPT}) e/o della resistenza non drenata equivalente ($C_{u,30}$).

Tutti i parametri che caratterizzano i terreni di fondazione sono riportati nei seguenti paragrafi.

4.1 Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è riassunta nella seguente tabella:

Descrizione del terreno	Q_i	Q_f	C_m	Ad	Ps	K_z	K_o	\emptyset	C'	C_u	Ed	VEd
	[m]	[m]			[N/m ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Stratigrafie												
Terreni fondazioni dirette												
Depositi colluviali	-	-	-	-	19000	200	40	25	0	0.043	10	-
Q_i =Quota iniziale dello strato (Riferito alla quota iniziale della stratigrafia)												
Q_f =Quota finale dello strato (Riferito alla quota iniziale della stratigrafia)												
C_m =Comportamento dello strato												
Ad =Addensamento dello strato												
Ps =Peso specifico del terreno												
K_z =Costante di sottofondo in verticale												
K_o =Costante di sottofondo orizzontale (media aritmetica fra le costanti lungo X e lungo Y)												
\emptyset =Angolo di attrito interno												

C'=Coesione efficace
C _u =Coesione
Ed=Modulo edometrico.
VEd=Variazione del modulo edometrico con la profondità.

4.2 Modellazione geotecnica

Ai fini del calcolo strutturale, il terreno sottostante l'opera viene modellato secondo lo schema di Winkler, cioè un sistema costituito da un letto di molle elastiche mutuamente indipendenti. Ciò consente di ricavare le rigidità offerte dai manufatti di fondazione, siano queste profonde o superficiali, che sono state introdotte direttamente nel modello strutturale per tener conto dell'interazione opera / terreno.

4.3 Pericolosità sismica

Ai fini della pericolosità sismica sono stati analizzati i dati relativi alla sismicità dell'area di interesse e ad eventuali effetti di amplificazione stratigrafica e topografica. Si sono tenute in considerazione anche la classe dell'edificio e la vita nominale.

Per tale caratterizzazione si riportano di seguito i dati di pericolosità come da normativa:

DATI GENERALI ANALISI SISMICA

													Dati generali analisi sismica				
Ang	NV	CD	MP	S	Mcm	PAC	EcA	IrT	TP	RP	RH	CVE	Fattori di Riduzione degli Spettri				
													SoX (q)	SoY (q)	SLU Sv	SLD Sov	
[ssdc]																	
0	15	B	ca	T	XY	A	S	N	E	SI	NO	5	3,12	3,12	1,50	1,00	

Stato Limite	Tr	Ag/g	Amplif. Stratigrafica		F0	T ^c	Tb	Tc	Td
			Ss	Cc					
	[anni]	[adim]	[adim]	[adim]	[adim]	[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	45	0,0602	1,600	1,872	2,440	0,296	0,185	0,554	1,841
SLD	75	0,0761	1,600	1,834	2,428	0,311	0,190	0,571	1,904
SLV	712	0,1969	1,474	1,755	2,431	0,348	0,203	0,610	2,387
SLC	1462	0,2578	1,306	1,745	2,447	0,353	0,205	0,615	2,631

Classe Edificio	Vita Nominale	Periodo di Riferimento	Latitudine	Longitudine	Altitudine	Amplificazione Topografica	
						Categ Topog	Coef Ampl Topog
	[anni]	[anni]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		
3	50	75	42.6630	14.0193	29	T1	1,00

LEGENDA Dati generali analisi sismica

- Ang** Direzione di una componente dell'azione sismica rispetto all'asse X (sistema di riferimento globale); la seconda componente dell'azione sismica e' assunta con direzione ruotata di 90 gradi rispetto alla prima.
- NV** Nel caso di analisi dinamica, indica il numero di modi di vibrazione considerati.
- CD** Classe di duttilità: [A] = Alta - [B] = Bassa - [ND] = Non Dissipativa - [-] = Nessuna.
- MP** Tipo di materiale prevalente nella struttura: [ca] = calcestruzzo armato - [muOld] = muratura esistente - [muNew] = muratura nuova - [muArm] = muratura armata - [ac] = acciaio.

Classe Edificio	Vita Nominale	Periodo di Riferimento	Latitudine	Longitudine	Altitudine	Amplificazione Topografica	
						Categ Topog	Coef Ampl Topog
	[anni]	[anni]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		

S	Tipologia della struttura: Cemento armato: [T] = Telaio - [P] = Pareti - [2P] = Due pareti per direzione non accoppiate - [DT] = Deformabili torsionalmente - [PI] = Pendolo inverso; Muratura: [P] = un solo piano - [PP] = più di un piano; Acciaio: [T] = Telaio - [CT] = controventi concentrici diagonale tesa - [CV] = controventi concentrici a V - [M] = mensola o pendolo invertito - [TT] = telaio con tamponature.
Mcm	Struttura con telai multicampata: [N]=Nessuna direzione - [X]=Solo in direzione X - [Y]=Solo in direzione Y - [XY]=Sia in direzione X che Y.
PAC	Presenza nella struttura di pareti accoppiate: [P] = presenti - [A] = Assenti
EcA	Eccentricita' accidentale: [S] = considerata come condizione di carico statica aggiuntiva - [N] = Considerata come incremento delle sollecitazioni.
IrT	Irregolarita' tamponature in pianta: [S] = Tamponature irregolari in pianta - [N] = Tamponature regolari in pianta.
TP	Tipo terreno prevalente, categoria di suolo di fondazione come definito al punto 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008 'Nuove Norme tecniche per le costruzioni: [A] = Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi - [B] = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti - [C] = Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti - [D] = Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti - [E] = Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m.
RP	Regolarita' in pianta: [S]= Struttura regolare - [N]=Struttura non regolare.
RH	Regolarita' in altezza: [S]= Struttura regolare - [N]=Struttura non regolare.
CVE	Coefficiente viscoso equivalente.
Classe Edificio	Classe dell'edificio.
SoX (q)	Fattore di riduzione dello spettro di risposta allo SLU per sisma orizzontale in direzione X (Fattore di struttura).
SoY (q)	Fattore di riduzione dello spettro di risposta allo SLU per sisma orizzontale in direzione Y (Fattore di struttura).
SLU Sv	Fattore di riduzione dello spettro di risposta allo SLU per sisma verticale.
SLD	Fattore di riduzione dello spettro di risposta allo SLD per sisma orizzontale e verticale.
Sov	
Categ Topog	Categoria topografica. (Vedi NOTE)
Coef	
Ampl Topog	Coefficiente di amplificazione topografica.
Tr	Periodo di ritorno dell'azione sismica.
Ag/g	Coefficiente di accelerazione al suolo.
Ss	Coefficienti di Amplificazione Stratigrafica allo SLO / SLD / SLV / SLC.
Cc	Coefficienti di Amplificazione di Tc allo SLO / SLD / SLV / SLC.
F0	Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
T*c	Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.
Tb	Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro di progetto.
Tc	Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di progetto.
Td	Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro di progetto.
Latitudine	Latitudine geografica del sito (in datum ED50).
Longitudine	Longitudine geografica del sito (in datum ED50).
Altitudine	Altitudine geografica del sito.

NOTE

[-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato

Categoria topografica

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i = 15^\circ$ T2: Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ = i = 30^\circ$ T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ **5 - SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE**

PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO E SISTEMAZIONE DEL CIMITERO CAPOLUOGO - V LOTTO - 1^ STRALCIO

La tipologia delle opere di fondazione sono consone alle caratteristiche meccaniche del terreno definite in base ai risultati delle indagini geognostiche.

Nel caso in esame, la struttura di fondazione è costituita da:

- fondazioni dirette

6 - VERIFICHE DI SICUREZZA

Nelle verifiche allo stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche di sicurezza sono state condotte, con riferimento all'**Approccio 2** (Combinazione **A1+M1+R3**), sulla base delle tipologie di fondazioni descritte nel paragrafo precedente.

Le azioni sono ottenute, applicando ai valori caratteristici delle stesse, i coefficienti parziali γ_F di cui nella tabella 6.2.I delle NTC 2008, che vengono di seguito riportati.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	A1 (STR)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0
	Sfavorevole		1.3
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0
	Sfavorevole		1.5
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0
	Sfavorevole		1.5

Il valore di progetto della resistenza R_d è determinato in modo analitico con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M , specificato nella tabella 6.2.II delle NTC 2008, e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specifici per ciascun tipo di opera. Utilizzando l'approccio 2, i coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici del terreno relativi alla colonna M1 sono tutti unitari.

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito elencate le metodologie ed i modelli usati per il calcolo del carico limite ed i risultati di tale calcolo.

6.1 Carico limite fondazioni dirette

La formula del carico limite esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno. Il carico limite è dato dalla seguente espressione:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_q + \frac{1}{2} \cdot B \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \psi_\gamma$$

in cui:

c = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

q = $\gamma \times D$ = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;

γ = peso unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione;

D = profondità del piano di posa della fondazione;

B = dimensione caratteristica della fondazione, che corrisponde alla larghezza della suola;

L = Lunghezza della fondazione;
 γ_f = peso unità di volume del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;
 N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante;
 s, d, i, g, b, ψ = coefficienti correttivi.

NB: Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

$$B' = B - 2 \cdot e_B$$

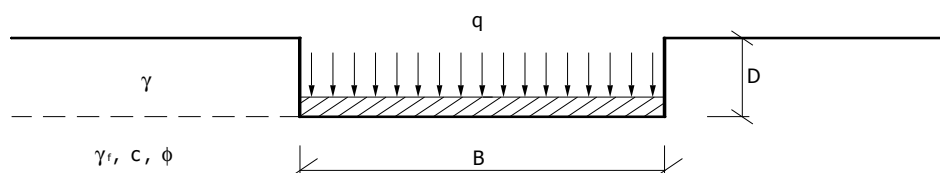
$$L' = L - 2 \cdot e_L$$

dove:

e_B = eccentricità parallela al lato di dimensione B;

e_L = eccentricità parallela al lato di dimensione L

con $B' \leq L'$.



Calcolo dei fattori N_c, N_q, N_γ

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$N_c = 2 + \pi$	$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$
$N_q = 1$	$N_q = k_p \cdot e^{\pi \tan \phi}$
$N_\gamma = 0$ se $\omega = 0$ $N_\gamma = -2 \sin \omega$ se $\omega \neq 0$	$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$

dove:

$k_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$ è il coefficiente di spinta passiva di Rankine;

ϕ = angolo di attrito del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

ω = angolo di inclinazione del piano campagna.

Calcolo dei fattori di forma s_c, s_q, s_γ

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$s_c = 1 + \frac{B'}{(2 + \pi)L'}$	$s_c = 1 + \frac{N_q B'}{N_c L'}$

$s_q = 1$	$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$
$s_y = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'}$	$s_y = 1 - 0.4 \frac{B'}{L'}$

con $B'/L' < 1$.

Calcolo dei fattori di profondità del piano di posa d_c d_q d_y

Si definisce il seguente parametro:

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} \leq 1;$$

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} > 1.$$

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$d_c = 1 + 0.4 \cdot k$	$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$d_q = 1$	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot k$
$d_y = 1$	$d_y = 1$

Calcolo dei fattori di inclinazione del carico i_c i_q i_y

Si definisce il seguente parametro:

$$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad \text{se la forza H è parallela alla direzione trasversale della fondazione}$$

$$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad \text{se la forza H è parallela alla direzione longitudinale della fondazione}$$

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta \quad \text{se la forza H forma un angolo } \theta \text{ con la direzione longitudinale della fondazione}$$

Terreni coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni incoerenti ($c = 0, \phi \neq 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$i_c = 1 - \frac{m \cdot H}{c \cdot N_c \cdot B \cdot L}$	$i_c = 0$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$i_q = 1$	$i_q = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^m$	$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi}\right)^m$

$i_y = 0$	$i_y = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^{m+1}$	$i_y = \left(1 - \frac{H}{V + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi}\right)^{m+1}$
-----------	--	--

dove:

- H = componente orizzontale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione;
- V = componente verticale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione.

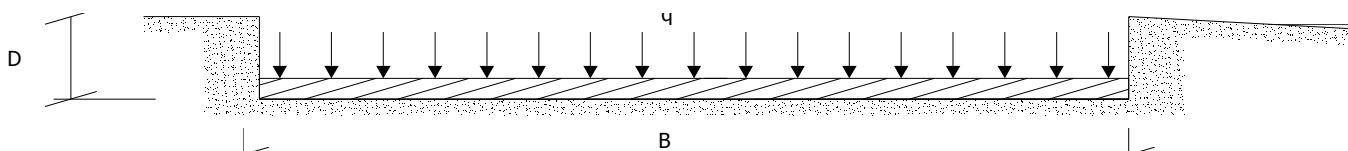
Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di campagna b_c , b_q , b_γ

Indicando con ω la pendenza del piano campagna, si ha:

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \omega}{(2 + \pi)}$	$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cos \omega$	$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cos \omega$
$b_\gamma = \frac{b_q}{\cos \omega}$	$b_\gamma = \frac{b_q}{\cos \omega}$

Per poter applicare tali coefficienti correttivi deve essere verificata la seguente condizione:

$$\omega < \phi ; \quad \omega < 45^\circ$$



Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di posa g_c , g_q , g_γ

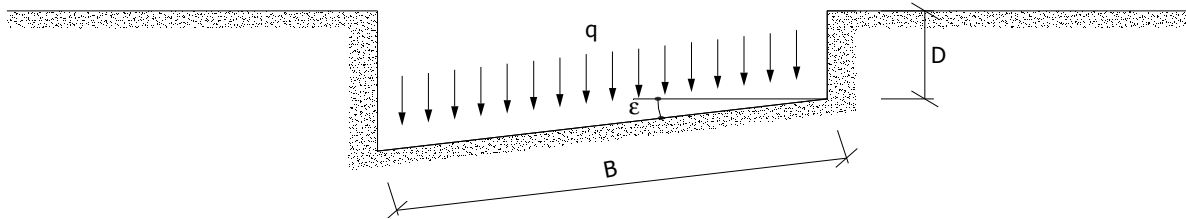
Indicando con ε la pendenza del piano di posa della fondazione, si ha:

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$g_c = 1 - \frac{2 \cdot \varepsilon}{(2 + \pi)}$	$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan \phi}$

$g_q = 1$	$g_q = (1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$
$g_\gamma = 1$	$g_\gamma = (1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$

Per poter applicare tali coefficienti correttivi deve essere verificata la seguente condizione:

$$\varepsilon < 45^\circ$$



Calcolo dei fattori di riduzione per rottura a punzonamento $\psi_c, \psi_q, \psi_\gamma$

Si definisce l'indice di rigidità del terreno come:

$$I_r = \frac{G}{c + \sigma \cdot \tan \phi}$$

dove:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

= modulo d'elasticità tangenziale del terreno;

E= modulo elastico del terreno. Nei calcoli è utilizzato il modulo edometrico;

ν = modulo di Poisson. Sia in condizioni non drenate che drenate è assunto pari a 0.5;

σ = tensione litostatica alla profondità $D+B/2$.

La rottura a punzonamento si verifica quando i coefficienti di punzonamento $\psi_c, \psi_q, \psi_\gamma$ sono inferiori all'unità; ciò accade quando l'indice di rigidità I_r si mantiene inferiore al valore critico:

$$I_r < I_{r,crit} = \frac{1}{2} \exp \left\{ \left(3.3 - 0.45 \frac{B'}{L'} \right) \cot \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right\}$$

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$\psi_c = 0.32 + 0.12 \frac{B'}{L'} + 0.6 \cdot \text{Log}(I_r)$	$\psi_c = \psi_q - \frac{1 - \psi_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$\psi_q = 1$	$\psi_q = \exp \left\{ \left(0.66 \frac{B'}{L'} - 4.4 \right) \tan \phi + \frac{3.07 \cdot \sin \phi \cdot \text{Log}(2I_r)}{1 + \sin \phi} \right\}$
$\psi_\gamma = 1$	$\psi_\gamma = \psi_q$

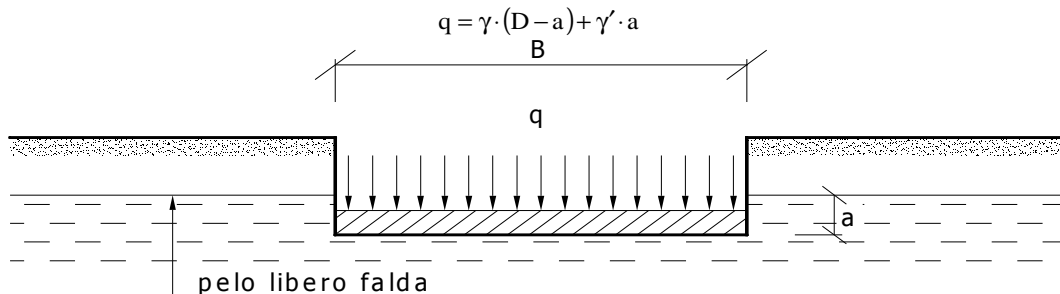
Calcolo del carico limite in presenza di falda

PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO E SISTEMAZIONE DEL CIMITERO CAPOLUOGO - V LOTTO - 1^ STRALCIO

Se il pelo libero della falda è compreso fra il piano campagna ed il piano di posa della fondazione, ad un'altezza a sopra il piano di posa, l'espressione generale del carico limite, valutato in termini di *tensioni effettive*, diviene:

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma'_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \psi_\gamma + \gamma_{H2O} \cdot a$$

dove la tensione litostatica al piano di posa è valutata come:

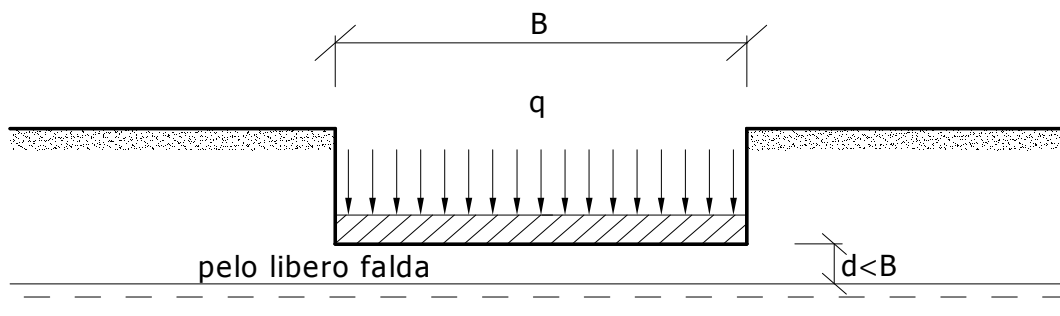


Se il pelo libero della falda è al di sotto del piano di posa della fondazione di una profondità d , tale che:

$$D \leq d \leq D+B, \quad \text{o in altri termini} \quad d < B$$

l'espressione generale del carico limite, valutato in termini di *tensioni effettive*, diviene:

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_q + 0.5 \cdot B \cdot \left(\gamma'_f + (\gamma_f - \gamma'_f) \frac{d}{B} \right) \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \psi_\gamma$$



Se il pelo libero della falda è al di sotto del piano campagna di una profondità d , tale che:

$$d \geq D+B, \quad \text{o in altri termini} \quad d \geq B$$

la presenza della falda viene trascurata.

Calcolo del carico limite in condizioni non drenate

L'espressione generale del carico limite, valutato in termini di *tensioni totale*, diventa:

$$q_{lim} = (2 + \pi) c_u \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q + \frac{1}{2} \gamma_{sat} \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

dove:

c_u = coesione non drenata;

γ_{sat} = peso unità di volume del terreno in condizioni di saturazione.

N.B: Nel calcolo in condizioni non drenate (situazione molto rara per un terreno incoerente) si assume, sempre e comunque, che l'angolo di attrito ϕ sia nullo ($\phi=0$).

6.2 Fattori correttivi al carico limite in presenza di sisma

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (**effetto cinematico**) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (**effetto inerziale**).

Nell'analisi pseudo-statica, modellando l'azione sismica attraverso la sola componente orizzontale, tali effetti possono essere portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati K_{hi} e K_{hk} , il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

La formula generale del carico limite si modifica nel seguente modo:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_c \cdot z_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_q \cdot z_q + \frac{1}{2} B \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \psi_\gamma \cdot z_\gamma \cdot c_\gamma$$

in cui, oltre ai termini già precedentemente indicati, si sono introdotti i seguenti termini:

z_c, z_q, z_γ = coefficienti correttivi dovuti all'effetto inerziale;

c_γ = coefficiente correttivo dovuto all'effetto cinematico.

Calcolo del fattore correttivo dovuto all'effetto cinematico c_γ

L'effetto cinematico modifica il solo coefficiente N_γ in funzione del coefficiente sismico K_{hk} , valutabile con i riferimenti normativi specificati per i pendii (circolare esplicativa § C 7.11.5.3.1). In tal modo è possibile esprimere il K_{hk} (§ 7.11.3.5.2, NTC 2008) come:

$$k_{hk} = \beta_s \frac{S_s \cdot S_T \cdot a_g}{g}$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_T = coefficiente di amplificazione topografica;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 7.11.I del DM 14/01/2008:

Tab. 7.11.I – DM 14/01/2008

	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	
	A	B,C,D,E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Il fattore correttivo dovuto all'effetto cinematico c_γ è stato, pertanto, determinato con la seguente relazione:

$$c_\gamma = \left(1 - \frac{k_{hk}}{\text{tg}\phi}\right)^{0.45}$$

Calcolo dei fattori correttivi dovuti all'effetto inerziale z_c, z_q, z_γ

L'effetto inerziale produce variazioni di tutti i coefficienti di capacità portante del carico limite in funzione del coefficiente sismico K_{hi} .

Tali effetti correttivi vengono valutati con la teoria di **Paolucci - Pecker** attraverso le seguenti relazioni:

$$z_\gamma = z_q = \left(1 - \frac{k_{hi}}{\text{tg}\phi}\right)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32 \cdot k_{hi}$$

dove:

K_{hi} è ricavato dallo spettro di progetto allo SLV attraverso la relazione:

$$k_{hi} = \frac{S_S \cdot S_T \cdot a_g}{g}$$

i cui termini sono stati precedentemente precisati.

Si fa notare che il coefficiente sismico K_{hi} coincide con l'ordinata dello spettro di progetto allo SLV per $T = 0$ ed è indipendente dalle combinazioni di carico.

Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa relativa alla verifica dello stato limite di collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno.

Si precisa che il valore relativo alla colonna $Q_{d,Rd}$ di cui nella tabella seguente, è da intendersi come il valore di progetto della resistenza R_{d} , ossia il rapporto fra il carico limite Q_{lim} (calcolato come sopra esposto) ed il valore del coefficiente parziale di sicurezza γ_R relativo alla capacità portante del complesso terreno-fondazione. Nel caso in esame il coefficiente parziale di sicurezza γ_R , come indicato nella tabella 6.4.I delle NTC 2008, è stato assunto pari a:

$$\gamma_R = 2.3.$$

Si precisa che, nella sottostante tabella:

- la coppia Q_{Max} e $Q_{d,Rd}$ è relativa alla combinazione di carico, fra tutte quelle esaminate, che da luogo al minimo coefficiente di sicurezza (CS);
- nelle colonne "per N_q ", "per N_c " e "per N_γ ", relative ai "Coef. Cor. Terzaghi", viene riportato il prodotto tra i vari coefficienti correttivi presenti nell'espressione generale del carico limite. Ad esempio si è posto:

$$\text{Coef. Cor. Terzaghi per } N_q = s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_q \cdot z_q$$

$$\text{Coef. Cor. Terzaghi per } N_c = s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_c \cdot z_c$$

$$\text{Coef. Cor. Terzaghi per } N_\gamma = s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \psi_\gamma \cdot z_\gamma \cdot c_\gamma$$

VERIFICHE A CARICO LIMITE

Descrizione	CS	Dimensioni e orientazione			Prof	Falda	Comp. Terreno	Coef. Cor. Terzaghi			Coef. Calc. Terzaghi			QMa x	Qd,R d
		X	Y	Rtz				per N_q	per N_c	per N_γ	per N_q	per N_c	per N_γ		
		[m]	[m]	[°]				[m]	[m]				[N/mm ²]		
Trave 5-4c	1,29	2,97	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,59	0,00	0,65	10,66	20,72	10,88	0,098	0,126
Trave 3c-P2	0,88	2,63	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,68	0,00	0,61	10,66	20,72	10,88	0,147	0,129
ERRORE: Il Carico Limite è inferiore al Carico Massimo di Progetto.															
Trave 2c-3c	8,21	0,35	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,87	0,00	0,50	10,66	20,72	10,88	0,009	0,077
Trave 1c-3c	8,90	0,35	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,93	0,00	0,56	10,66	20,72	10,88	0,009	0,083
Trave 21-19c	1,00	0,40	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,28	0,00	0,91	10,66	20,72	10,88	0,122	0,123
Trave 18c-20	1,80	0,63	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,96	0,00	0,57	10,66	20,72	10,88	0,048	0,085
Trave 20-21	4,69	3,95	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,95	0,00	0,57	10,66	20,72	10,88	0,018	0,085
Trave 14c-16c	8,98	0,45	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,96	0,00	0,54	10,66	20,72	10,88	0,009	0,084
Trave 15-12c	0,89	2,98	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,55	0,00	0,70	10,66	20,72	10,88	0,142	0,127
Trave 11c-15	0,81	2,92	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,51	0,00	0,72	10,66	20,72	10,88	0,155	0,126
Trave 11c-	1,37	2,92	1,20	0,00	0,65	-	NON	1,61	0,00	0,63	10,66	20,72	10,88	0,092	0,126

Verifiche a carico limite

Descrizione	CS	Dimensioni e orientazione			Prof	Falda	Comp. Terreno	Coef. Cor. Terzaghi			Coef. Calc. Terzaghi			Q _{Max}	Q _{d,Rd}
		X	Y	Rtz				per N _a	per N _c	per N _v	per N _a	per N _c	per N _v		
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]							[N/mm ²]	[N/mm ²]	
14							Coesivo								
Trave 14-13c	1,40	2,99	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,62	0,00	0,62	10,66	20,72	10,88	0,090	0,126
Trave 15c-17c	8,96	0,45	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,96	0,00	0,54	10,66	20,72	10,88	0,009	0,084
Trave 17-15c	0,06	0,66	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,19	0,00	0,98	10,66	20,72	10,88	2,106	0,121
Trave 22-21c	3,05	2,99	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,52	0,00	0,64	10,66	20,72	10,88	0,040	0,122
Trave 18-14c	0,00	0,65	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,00	0,00	0,00	10,66	20,72	10,88	0,103	0,000
Trave 20c-22	0,88	0,40	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,26	0,00	0,92	10,66	20,72	10,88	0,138	0,122
Trave 5-6c	0,31	2,28	0,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,43	0,00	0,84	10,66	20,72	10,88	0,357	0,112
Trave 4-5	2,48	4,85	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,32	0,00	0,88	10,66	20,72	10,88	0,050	0,123
Trave 3-5c	0,19	2,28	0,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,37	0,00	0,92	10,66	20,72	10,88	0,585	0,111
Trave 2-3	2,44	4,85	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,31	0,00	0,86	10,66	20,72	10,88	0,050	0,121
Trave 9c-14	0,17	2,19	0,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,36	0,00	0,92	10,66	20,72	10,88	0,660	0,111
Trave 10c-18	0,29	2,70	0,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,47	0,00	0,83	10,66	20,72	10,88	0,391	0,114
Trave 12c-18	0,64	1,89	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,40	0,00	0,82	10,66	20,72	10,88	0,193	0,124
Trave 7c-8c	9,96	2,55	0,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,01	0,00	0,56	10,66	20,72	10,88	0,008	0,078
Trave 3-4	2,83	5,84	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,30	0,00	0,90	10,66	20,72	10,88	0,043	0,123
Trave 13c-17	0,33	1,89	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,32	0,00	0,87	10,66	20,72	10,88	0,371	0,123
Trave P8-19	1,57	3,83	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,83	10,66	20,72	10,88	0,078	0,122
Trave 3c-2	0,40	2,07	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,32	0,00	0,85	10,66	20,72	10,88	0,303	0,121
Trave 15c-21	3,42	2,97	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,53	0,00	0,70	10,66	20,72	10,88	0,037	0,126
Trave 19-20	1,27	2,25	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,68	0,00	0,61	10,66	20,72	10,88	0,102	0,129
Trave 14c-22	3,71	2,97	1,20	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,51	0,00	0,72	10,66	20,72	10,88	0,034	0,125
Platea 1	0,74	14,81	3,35	90,00	0,65	-	NON Coesivo	0,98	1,08	0,86	1,00	5,14	0,00	0,139	0,103
Platea 2	0,74	20,66	5,85	0,00	0,65	-	NON Coesivo	0,96	1,10	0,88	1,00	5,14	0,00	0,133	0,098

LEGENDA - Verifiche a carico limite

Descrizione	Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
CS	Coefficiente di sicurezza [NS] = Non significativo.
Dimensioni	Dimensioni dell'elemento di fondazione.
Rtz	Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.
Prof	Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
Falda	Profondità di falda sotto l'elemento di fondazione dal piano campagna.
Comp. Terreno	Classificazione del comportamento del terreno ai fini del calcolo.
Coef. Cor. Terzaghi	Coefficienti correttivi per la formula di Terzaghi.
Coef. Calc.	Coefficienti di calcolo per la formula di Terzaghi.

Verifiche a carico limite

Descrizione	CS	Dimensioni e orientazione			Prof	Falda	Comp. Terreno	Coef. Cor. Terzaghi			Coef. Calc. Terzaghi			QMax	Qd,Rd
		X	Y	Rtz				per N _a	per N _c	per N _v	per N _a	per N _c	per N _v		
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]

Terzaghi**QMax** Carico Massimo di Progetto allo SLU.**Qd,Rd** Resistenza di progetto del terreno.

Roseto degli Abruzzi

li

I Progettisti

(Dott. Ing. Gabriele Maggitti)**(Dott. Arch. Vladimiro Quaranta)**