



RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

PROGETTAZIONE STRUTTURALE

MARZO 2016

Studio tecnico per l'edilizia
Ing. Roberto Calcagni

Pollenza (Mc) 62010

Via Campomaggio, 8

+39.0733.541799 +39.0733.541799

Località : **POPOLI (PE)**

Oggetto : **MIGLIORAMENTO SISMICO DEL
CORPO C2 DEL P.O. DI POPOLI**

Committente : **USL PESCARA -
U.O.C. SERVIZIO TECNICO PARTIMONIALE**

TAVOLA N.

R4

REV.	DATA
0	
1	
2	
3	
4	
-	

RAPP.

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 sulla base dei dati risultanti dalle prove di campagna.

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 E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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 e Caratterizzazione geotecnica

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.

TERRENI

N _{TRN}	X _T	K			w	c _u	c'	E _d	E _{cu}	A _{S-B}
		K _X	K _Y	K _Z						
	[N/m ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[°]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Coltre colluviale: Depositi limoso-sabbiosi e sabbie limose moderatamente consistenti										
T001	18 000	10	10	50	23	0,018	0,000	56	0	0,000

LEGENDA:

N _{TRN}	Numero identificativo del terreno.
X _T	Peso specifico del terreno.
K	Valori della costante di sottofondo del terreno nelle direzioni degli assi di riferimento globale X (K _X), Y (K _Y), e Z (K _Z).
w	Angolo di attrito del terreno.
c _u	Coesione non drenata.
c'	Coesione efficace.
E _d	Modulo edometrico.

										Terreni
N _{TRN}	X _T	K			w	c _u	c'	E _d	E _{cu}	A _{S-B}
		K _X	K _Y	K _Z						
	[N/m ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[°]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
E _{cu}	Modulo elastico in condizione non drenate.									
A _{S-B}	Parametro "A" di Skempton-Bjerrum per pressioni interstiziali.									

NB: Nel caso di fondazioni dirette con stratigrafia, il calcolo del carico limite (q_{lim}) viene fatto su un terreno "equivalente" con parametri geotecnici calcolati come media pesata degli strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità "significativa" (stabilita come "Multiplo della dimensione Significativa della fondazione").

$$\text{Parametro "J"} = \frac{\sum_i^n [\text{Parametro "J" (strato, i)} \cdot \text{Spessore (strato, i)}]}{\text{Profondità significativa}}$$

con $i = 1, \dots, n$ (numero di strati compresi tra la quota del piano di posa e la quota della profondità significativa).

3.2 Idrogeologia

Non è stata riscontrata la presenza di falde acquifere a profondità di interesse relativamente al "volume significativo" investigato.

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 - 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:

C [C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti], 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 nella relazione geologica.

4.1 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.

4.2 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. A riguardo si rimanda alla relazione generale e ai tabulate di calcolo

5 - SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

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 strutturali e geotecniche delle fondazioni, sono state effettuate con l'Approccio 2 come definito al p. 2.6.1 del DM 14/01/2008, attraverso la combinazione A1 + M1 + R3. Le azioni sono state amplificate tramite i coefficienti della colonna A1 (STR) definiti nella tabella 6.2.I del DM 14/01/2008.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [DM 14/01/2008]

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella 6.2.II del DM 14/01/2008.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno [EN 1997-1:2005 (EC7)]

PARAMETRO GEOTECNICO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	M1	M2
Angolo di attrito	$\tan\phi_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,00	1,25
Coesione non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

I valori calcolati delle resistenze totali dell'elemento strutturale sono stati divisi per i coefficienti R3 della tabella 6.4.I del DM 14/01/2008 per le fondazioni superficiali.

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:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \Psi_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \Psi_q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma$$

in cui:

- c = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;
- $q = \gamma \cdot D$ = 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' = larghezza ridotta della suola di fondazione (vedi NB);
- 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, r = coefficienti correttivi.

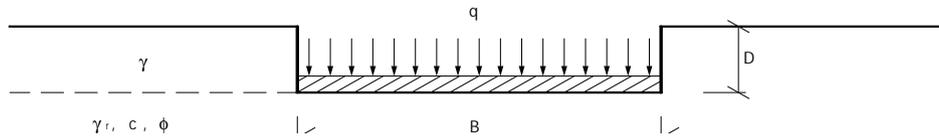
NB: Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica, B e L saranno ridotte rispettivamente di:

$$B' = B - 2 \cdot e_B \quad \text{ed} \quad L' = L - 2 \cdot e_L$$

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_x

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

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_x

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi=0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$S_c = 1 + \frac{B'}{(2 + \pi) \cdot L'}$	$S_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$
$S_q = 1$	$S_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi$
$S_\gamma = 1 - 0.40 \cdot \frac{B'}{L'}$	$S_\gamma = 1 - 0.40 \cdot \frac{B'}{L'}$

con $B'/L' < 1$.

Calcolo dei fattori di profondità del piano di posa d_c , d_q , d_x

Si definisce il seguente parametro:

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

$$K = \arctg \left(\frac{D}{B'} \right) \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} > 1.$$

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

Calcolo dei fattori di inclinazione del carico i_c , i_q , i_x

Si definisce il seguente parametro:

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

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

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

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

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

dove:

H = componente orizzontale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione;

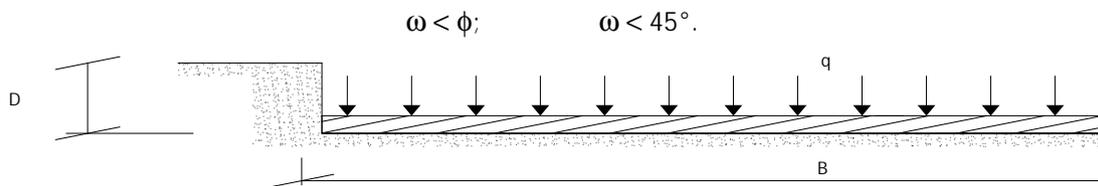
V = componente verticale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione.

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

Indicando con \checkmark la pendenza del piano campagna, si ha:

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

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

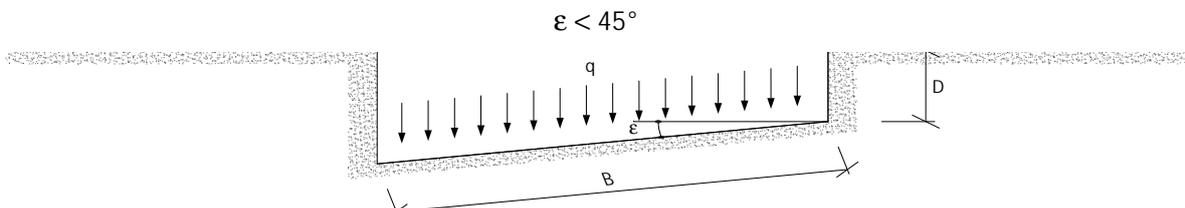


Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di posa g_c , g_q , g_x

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

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

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



Calcolo dei fattori di riduzione per rottura a punzonamento \mathbb{E}_c , \mathbb{E}_q , \mathbb{E}_x

Si definisce l'indice di rigidità del terreno come:

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

dove:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \text{modulo d'elasticità tangenziale del terreno};$$

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, a vantaggio di sicurezza;

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

La rottura a punzonamento si verifica quando i coefficienti di punzonamento \mathbb{E}_c , \mathbb{E}_q , \mathbb{E}_x sono inferiori all'unità;

ciò accade quando l'indice di rigidezza I_r si mantiene inferiore al valore critico:

$$I_r < I_{r,crit} = \frac{1}{2} \cdot e^{\left[\left(3.3 - 0.45 \frac{B}{L} \right) \cot \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right]}$$

Terreni puramente coesivi (c 0, $\phi=0$)	Terreni dotati di attrito e coesione (c 0, ϕ 0)
$\Psi_c = 0.32 + 0.12 \cdot \frac{B'}{L'} + 0.6 \cdot \text{Log}(I_r)$	$\Psi_c = \Psi_q - \frac{1 - \Psi_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$\Psi_q = 1$	$\Psi_q = e^{\left\{ \left(0.6 \frac{B'}{L'} - 4.4 \right) \tan \phi + \frac{3.07 \cdot \sin \phi \cdot \text{Log}(2 \cdot I_r)}{1 + \sin \phi} \right\}}$
$\Psi_\gamma = 1$	$\Psi_\gamma = \Psi_q$

Correzione per fondazione tipo piastra

Bowles, al fine di limitare il contributo del termine "B·N_γ", che per valori elevati di B porterebbe ad ottenere valori del carico limite prossimi a quelli di una fondazione profonda, propone il seguente fattore di riduzione r_x :

$$r_\gamma = 1 - 0.25 \cdot \text{Log} \left(\frac{B}{2} \right) \text{ con } B \geq 2 \text{ m}$$

Nella tabella sottostante sono riportati una serie di valori del coefficiente r_γ al variare della larghezza dell'elemento di fondazione.

B [m]	2	2.5	3	3.5	4	5	10	20	100
r_x	1,00	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,82	0,75	0,57

Questo coefficiente assume particolare importanza per fondazioni larghe con rapporto D/B basso, caso nel quale il termine "B·N_γ" è predominante.

Calcolo del carico limite in condizioni non drenate

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

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

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:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \Psi_c \cdot Z_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \Psi_q \cdot Z_q + \frac{B'}{2} \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma \cdot Z_\gamma \cdot c_\gamma$$

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_x

L'effetto cinematico modifica il solo coefficiente N_γ in funzione del coefficiente sismico K_{hk} che è pari a:

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

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 seguente tabella:

	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	
	A	B, C, D, E
	S_s	S_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_x è stato, pertanto, determinato con la seguente relazione:

Terreni puramente coesivi (c > 0, $\phi=0$)	Terreni dotati di attrito e coesione (c > 0, $\phi > 0$)
$c_\gamma = 1$	$c_\gamma = \left(1 - \frac{K_{hk}}{\tan\phi}\right)^{0.45}$ se $\frac{K_{hk}}{\tan\phi} < 1$, altrimenti $c_\gamma = 0$

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

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:

Terreni puramente coesivi (c > 0, $\phi=0$)	Terreni dotati di attrito e coesione (c > 0, $\phi > 0$)	
$z_c = z_q = z_\gamma = 1$	$z_c = 1 - 0.32 \cdot K_{hi}$	se $z_c > 0$ altrimenti $z_c = 0$
	$z_\gamma = z_q = \left(1 - \frac{K_{hi}}{\tan\phi}\right)^{0.35}$	se $\frac{K_{hi}}{\tan\phi} < 1$ altrimenti $z_\gamma = z_q = 0$

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 SLU 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, in relazione all'approccio utilizzato. Nel caso in esame il coefficiente parziale di sicurezza γ_R , come indicato nella tabella 6.4.1 del DM 14/01/2008 è stato assunto pari a:

Tabella 6.4.1 – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limiti ultimi di fondazioni superficiali [DM 14/01/2008]

Verifica	Coefficiente parziale γ_R (R3)
Capacità portante	2,3

Si precisa che, nella sottostante tabella:

- la coppia Q_{Ed} 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_x ", 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:

Coef. Cor. Terzaghi per $N_q = s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_q \cdot Z_q$

Coef. Cor. Terzaghi per $N_c = s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_c \cdot Z_c$

Coef. Cor. Terzaghi per $N_\gamma = s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma \cdot \Psi_\gamma \cdot r_\gamma \cdot Z_\gamma \cdot c_\gamma$

40	8	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	550.28
41	5	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	610.00
42	40	41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	550.01
43	882	40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.67
44	884	882	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.67
45	886	884	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.67
46	888	886	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.67
47	890	888	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.67
48	43	890	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.67
49	44	43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300.00
50	45	44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	510.00
51	43	46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	550.00
52	37	43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	640.00
53	44	47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	550.00
54	45	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	550.01
55	39	45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	640.00
56	36	39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	560.00
57	38	44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	640.00
58	33	38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	560.00
59	32	33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.00
60	31	32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	380.00
61	33	30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300.00
62	36	33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	510.00
63	35	36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.00
64	34	35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	380.00
65	30	37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	560.00
66	29	30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.00
67	28	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	380.00
68	31	28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300.00
69	610	31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00
70	608	610	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00
71	606	608	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00
72	604	606	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00
73	602	604	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00
74	34	602	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.00

Sezioni

Sezione a T

Elemento	Materiale	Spessore anima (cm)	Altezza anima (cm)	Spessore ala (cm)	Larghezza ala (cm)
1	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	150.00
2	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
3	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
4	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
5	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
6	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
7	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
8	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
9	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
10	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
11	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
12	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
13	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
14	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	100.00
15	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	100.00
16	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	100.00
17	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	150.00
18	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	150.00
19	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	150.00
20	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	150.00
21	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
22	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
23	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	150.00
24	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	100.00
25	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00

26	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
27	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
28	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
29	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
30	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
31	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
32	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	100.00
33	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	100.00
34	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
35	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
36	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
37	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
38	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
39	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	160.00
40	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
41	Calcestruzzo	50.00	115.00	50.00	120.00
42	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
43	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	160.00
44	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	160.00
45	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	160.00
46	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	160.00
47	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	160.00
48	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	160.00
49	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
50	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
51	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	90.00
52	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	90.00
53	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	130.00
54	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	120.00
55	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	120.00
56	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	120.00
57	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	130.00
58	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	130.00
59	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	130.00
60	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	130.00
61	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
62	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
63	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	120.00
64	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	120.00
65	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	90.00
66	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	90.00
67	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	90.00
68	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
69	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
70	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
71	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
72	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
73	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00
74	Calcestruzzo	50.00	85.00	50.00	110.00

Verifica geotecnica scorrimento globale

Scorrimento agente (kg)	Scorrimento resistente (kg)	Coeff. sicurezza minimo	Coeff. sicurezza medio
1.00e-006	491688.63	10.00	49.62

Verifica geotecnica travi fondazione

Elem.	Coeff. S.Fondo (kg/cm3)	Defl. max (cm)	Press. max (kg/cm2)	Portanza (kg/cm2)	Fatt. Sic.	Scorrimento (kg)	Scorr. Resist. (kg)	Fatt. Sic. Comb.
1	5.00	-0.30	1.51	3.74	2.47	15.62	23367.17	>10.0 16
2	5.00	-0.22	1.09	4.94	4.52	64.67	2148.37	>10.0 25
3	5.00	-0.22	1.10	4.94	4.48	64.67	2148.37	>10.0 25
4	5.00	-0.22	1.11	4.94	4.45	64.67	2148.37	>10.0 25
5	5.00	-0.22	1.12	4.94	4.41	64.67	2148.37	>10.0 25
6	5.00	-0.22	1.12	5.45	4.87	46.51	1656.58	>10.0 25
7	5.00	-0.22	1.12	5.45	4.85	46.51	1656.58	>10.0 25

8	5.00	-0.23	1.13	5.45	4.83	46.51	1656.58	>10.0	25
9	5.00	-0.23	1.14	5.45	4.80	46.51	1656.58	>10.0	25
10	5.00	-0.23	1.14	4.61	4.06	59.68	2810.83	>10.0	25
11	5.00	-0.23	1.13	4.61	4.06	59.68	2810.83	>10.0	25
12	5.00	-0.23	1.13	4.61	4.06	59.68	2810.83	>10.0	25
13	5.00	-0.23	1.13	4.61	4.07	59.68	2810.83	>10.0	25
14	5.00	-0.19	0.94	3.76	4.01	376.07	7891.57	>10.0	25
15	5.00	-0.15	0.77	3.88	5.02	131.92	6423.18	>10.0	25
16	5.00	-0.22	1.10	3.68	3.35	53.13	12642.45	>10.0	9
17	5.00	-0.21	1.03	3.82	3.70	252.00	17302.96	>10.0	25
18	5.00	-0.18	0.90	3.86	4.31	1025.41	15611.42	>10.0	16
19	5.00	-0.21	1.06	3.86	3.64	110.33	16127.32	>10.0	25
20	5.00	-0.21	1.05	3.82	3.64	105.22	17772.79	>10.0	25
21	5.00	-0.26	1.32	3.67	2.77	1244.49	13961.85	>10.0	8
22	5.00	-0.21	1.03	3.64	3.54	228.65	18071.98	>10.0	25
23	5.00	-0.35	1.74	3.74	2.15	2666.02	27016.47	>10.0	16
24	5.00	-0.37	1.86	3.88	2.09	629.15	7064.92	>10.0	16
25	5.00	-0.30	1.50	6.25	4.17	1.34	2340.71	>10.0	16
26	5.00	-0.26	1.30	6.25	4.79	1.34	2340.71	>10.0	25
27	5.00	-0.27	1.34	6.25	4.68	1.34	2340.71	>10.0	11
28	5.00	-0.34	1.69	6.25	3.70	1.34	2340.71	>10.0	11
29	5.00	-0.41	2.06	6.25	3.04	1.34	2340.71	>10.0	9
30	5.00	-0.49	2.44	6.25	2.56	1.34	2340.71	>10.0	11
31	5.00	-0.49	2.44	3.58	1.46	1.94	17256.68	>10.0	11
32	5.00	-0.26	1.31	3.76	2.87	1181.04	10668.04	9.03	8
33	5.00	-0.20	0.99	3.88	3.91	415.70	6980.68	>10.0	25
34	5.00	-0.21	1.07	6.12	5.72	0.81	2411.55	>10.0	25
35	5.00	-0.22	1.12	6.12	5.45	0.81	2411.55	>10.0	25
36	5.00	-0.23	1.15	6.12	5.31	0.81	2411.55	>10.0	25
37	5.00	-0.26	1.31	6.12	4.67	0.81	2411.55	>10.0	11
38	5.00	-0.30	1.48	6.12	4.15	0.81	2411.55	>10.0	11
39	5.00	-0.33	1.63	6.12	3.76	0.81	2411.55	>10.0	9
40	5.00	-0.35	1.75	3.66	2.10	51.19	14604.24	>10.0	9
41	5.00	-0.23	1.14	3.64	3.20	140.35	17258.94	>10.0	9
42	5.00	-0.51	2.55	3.66	1.44	8911.16	14254.03	1.60	10
43	5.00	-0.53	2.66	6.72	2.52	0.22	1989.08	>10.0	10
44	5.00	-0.46	2.29	6.72	2.93	0.22	1989.08	>10.0	10
45	5.00	-0.38	1.91	6.72	3.53	0.22	1989.08	>10.0	10
46	5.00	-0.32	1.61	6.72	4.16	0.22	1989.08	>10.0	3
47	5.00	-0.29	1.44	6.72	4.67	0.22	1989.08	>10.0	7
48	5.00	-0.24	1.21	6.72	5.53	0.22	1989.08	>10.0	5
49	5.00	-0.21	1.03	3.88	3.75	31.54	8406.68	>10.0	13
50	5.00	-0.16	0.81	3.68	4.54	81.60	17396.27	>10.0	13
51	5.00	-0.22	1.10	3.65	3.31	2309.28	10785.82	4.67	25
52	5.00	-0.21	1.06	3.62	3.43	71.12	14094.68	>10.0	13
53	5.00	-0.23	1.13	3.67	3.26	453.71	24517.22	>10.0	25
54	5.00	-0.25	1.25	3.67	2.93	669.98	18537.39	>10.0	25
55	5.00	-0.21	1.04	3.63	3.47	10417.07	13771.38	1.32	25
56	5.00	-0.24	1.19	3.66	3.07	10676.58	15197.57	1.42	6
57	5.00	-0.18	0.90	3.63	4.05	9331.10	15001.81	1.61	13
58	5.00	-0.16	0.80	3.67	4.58	9394.66	15126.53	1.61	25
59	5.00	-0.19	0.93	3.99	4.31	5664.05	7989.88	1.41	12
60	5.00	-0.46	2.30	3.81	1.66	4935.12	9640.77	1.95	3
61	5.00	-0.17	0.83	3.88	4.65	5156.12	8629.11	1.67	4
62	5.00	-0.23	1.14	3.68	3.24	8359.58	13730.44	1.64	6
63	5.00	-0.36	1.79	3.96	2.21	6712.21	7902.99	1.18	15
64	5.00	-0.75	3.75	3.79	1.01	6150.92	9010.15	1.46	13
65	5.00	-0.17	0.86	3.65	4.23	11570.60	13205.75	1.14	4
66	5.00	-0.21	1.05	3.90	3.73	6914.25	6891.22	1.14	12
67	5.00	-0.45	2.27	3.76	1.66	2459.36	10933.64	4.45	10
68	5.00	-0.54	2.69	3.88	1.44	873.72	7847.75	8.98	3
69	5.00	-0.54	2.68	5.09	1.90	4.57	1775.90	>10.0	3
70	5.00	-0.53	2.67	5.09	1.91	4.57	1775.90	>10.0	3
71	5.00	-0.55	2.75	5.09	1.85	4.57	1775.90	>10.0	5
72	5.00	-0.58	2.92	5.09	1.74	4.57	1775.90	>10.0	5

73	5.00	-0.64	3.21	5.09	1.58	4.57	1775.90	>10.0	13
74	5.00	-0.75	3.77	5.09	1.35	4.57	1775.90	>10.0	13

VERIFICHE CORPO B

Indice

Caratteristiche del terreno
Elementi
Verifica geotecnica scorrimento globale
Verifica geotecnica travi fondazione

Caratteristiche del terreno

Angolo attrito interno ° 23.000000 Gamma 1.000000
Coesione kg/cm2 0.180000 Gamma 1.000000
Densità kg/cm3 0.001800 Gamma 1.000000
Coeff. Sic. Portanza 2.300000
Coeff. Sic. Scorrimento 1.100000
Profondità piano posa cm 120.000000

Elementi

Elemento Dal nodo Al nodo Offset estremo sinistro (cm) Offset estremo destro (cm) Lunghezza (cm)

			x	y	z	x	y	z	
1	20	17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	430.00
2	23	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	390.00
3	26	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	430.00
4	29	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	260.00
5	23	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.00
6	22	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	380.00
7	91	18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00
8	89	91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00
9	87	89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00
10	85	87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00
11	17	85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.00
12	16	17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	380.00
13	19	16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	430.00
14	22	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	390.00
15	25	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	430.00
16	28	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	260.00
17	29	28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	380.00
18	30	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.00
19	27	30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	260.00
20	24	27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	430.00
21	21	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	390.00
22	18	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	430.00

Verifica geotecnica scorrimento globale

Scorrimento agente (kg) Scorrimento resistente (kg) Coeff. sicurezza minimo Coeff. sicurezza medio
66856.07 166179.88 1.08 2.49

Verifica geotecnica travi fondazione

Elem.	Coeff. S.Fondo (kg/cm3)	Defl. max (cm)	Press. max (kg/cm2)	Portanza (kg/cm2)	Fatt. Sic.	Scorrimento (kg)	Scorr. Resist. (kg)	Fatt. Sic.	Comb.
1	3.00	-0.42	1.27	3.51	2.77	41.46	12151.88	>10.0	7
2	3.00	-0.27	0.80	3.55	4.43	103.68	8937.02	>10.0	5
3	3.00	-0.26	0.77	3.51	4.54	7127.66	10732.92	1.51	6
4	3.00	-0.42	1.26	3.76	2.98	189.74	9632.26	>10.0	15
5	3.00	-0.31	0.92	3.52	3.84	3049.76	5987.09	1.96	8
6	3.00	-0.32	0.95	3.39	3.57	94.76	10500.06	>10.0	3
7	3.00	-0.95	2.84	5.34	1.88	0.38	980.69	>10.0	12
8	3.00	-0.84	2.51	5.34	2.13	0.38	980.69	>10.0	12
9	3.00	-0.72	2.16	5.34	2.47	0.38	980.69	>10.0	12
10	3.00	-0.61	1.82	5.34	2.94	0.38	980.69	>10.0	12

11	3.00	-0.50	1.51	5.34	3.54	0.38	980.69	>10.0	12
12	3.00	-0.62	1.86	3.39	1.83	2860.40	7396.38	2.59	7
13	3.00	-0.59	1.77	3.54	2.00	8281.99	10318.91	1.25	7
14	3.00	-0.35	1.05	3.57	3.41	335.24	7664.64	>10.0	3
15	3.00	-0.52	1.56	3.54	2.27	7621.65	8541.62	1.12	1
16	3.00	-0.72	2.16	3.75	1.74	273.40	8439.59	>10.0	1
17	3.00	-0.66	1.99	3.39	1.70	400.81	11580.40	>10.0	9
18	3.00	-0.75	2.25	3.52	1.56	13368.39	14644.42	1.12	6
19	3.00	-0.79	2.38	3.54	1.49	8643.23	12234.22	1.42	6
20	3.00	-0.54	1.62	3.35	2.07	7631.93	8273.16	1.08	6
21	3.00	-0.41	1.24	3.38	2.73	2860.20	11230.07	3.93	2
22	3.00	-0.96	2.87	3.35	1.17	3969.87	9011.78	2.27	12