

COMUNE DI SAN SALVO

Provincia di CHIETI



LAVORI DI NUOVO POLO SCOLASTICO MATERNA ED
ELEMENTARE CON DELOCALIZZAZIONE DEGLI EDIFICI
SCOLASTICI SCUOLA MATERNA DI VIA FIRENZE ED
ELEMENTARE DI VIA DE VITO

CIG.:

CUP.:

PROGETTO ESECUTIVO - 1° STRALCIO

COMMITTENTE:
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI SAN SALVO

R.U.P.: *Ing. Franco MASCIULLI*

PROGETTISTI:

R.T.P.

Arch. Dino Tiziano CILLI
(*capogruppo*)

Ing. Luigi A. PETRONI

Ing. Nicola RICAMATO

Ing. Lucio ROSSI

STRUTTURE

RELAZIONE GEOTECNICA

TAVOLA: S.06

DATA:
Ottobre 2017

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA - SCUOLA ELEMENTARE

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 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 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

										Terreni
N _{TRN}	γ _T	K			φ	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]	
limo argilloso con elementi ghiaiosi										
T001	19.000	80	80	300	24	0,110	0,004	150	88	0,750

LEGENDA:

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

Terreni										
N _{TRN}	γ _T	K			φ	c _u	c'	E _d	E _{cu}	A _{S-B}
	[N/m ³]	K _x	K _y	K _z	[°]	[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").

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

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 nei successivi paragrafi.

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.

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	Dir	TS	EcA	Ir _{Temp}	C.S.T.	RP	RH	ξ
[°]											

Dati generali analisi sismica

Ang	NV	CD	MP	Dir	TS	EcA	Ir _{Temp}	C.S.T.	RP	RH	ξ
[°]				X Y	[T +C] [T +C]						
0	15	B	ca			S	S	C	NO	NO	5

LEGENDA:

- 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 struttura sismo-resistente prevalente: [ca] = calcestruzzo armato - [caOld] = calcestruzzo armato esistente - [muOld] = muratura esistente - [muNew] = muratura nuova - [muArm] = muratura armata - [ac] = acciaio.
- Dir** Direzione del sisma.
- TS** Tipologia della struttura:
Cemento armato: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [P] = Pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti - [2P NC] = Due pareti per direzione non accoppiate - [P NC] = Pareti non accoppiate - [DT] = Deformabili torsionalmente - [PI] = Pendolo inverso - [PM] = Pendolo inverso intelaiate monopiano;
Muratura: [P] = un solo piano - [PP] = più di un piano;
Acciaio: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [CT] = controventi concentrici diagonale tesa - [CV] = controventi concentrici a V - [M] = mensola o pendolo inverso - [TT] = telaio con tamponature.
- EcA** Eccentricità accidentale: [S] = considerata come condizione di carico statica aggiuntiva - [N] = Considerata come incremento delle sollecitazioni.
- Ir_{Temp}** Per piani con distribuzione dei tamponamenti in pianta fortemente irregolare, l'eccentricità accidentale è stata incrementata di un fattore pari a 2: [SI] = Distribuzione tamponamenti irregolare fortemente - [NO] = Distribuzione tamponamenti regolare.
- C.S.T.** Categoria di sottosuolo: [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 - [S1] = Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche - [S2] = Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.
- RP** Regolarità in pianta: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- RH** Regolarità in altezza: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- ξ Coefficiente viscoso equivalente.
- NOTE** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.

DATI GENERALI ANALISI SISMICA - FATTORI DI STRUTTURA

Fattori di struttura							
Dir. X				Dir. Y			
q	q ₀	α_u/α_1	K _w	q	q ₀	α_u/α_1	K _w
2,760	3,45	1,15	-	2,760	3,45	1,15	-

LEGENDA:

- q** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU (Fattore di struttura).
- q₀** Valore di base.
- α_u/α_1** Rapporto di sovraresistenza.
- K_w** Fattore di riduzione di q₀.

Stato Limite	T _r	a _g /g	Amplif. Stratigrafica		F ₀	T [*] _c	T _B	T _C	T _D
			S _s	C _c					
	[t]					[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	68	0,0512	1,500	1,489	2,577	0,347	0,172	0,517	1,805
SLD	114	0,0603	1,500	1,438	2,632	0,385	0,185	0,554	1,841
SLV	1073	0,1257	1,497	1,328	2,686	0,491	0,217	0,652	2,103
SLC	2203	0,1513	1,449	1,296	2,769	0,528	0,228	0,685	2,205

LEGENDA:

- T_r** Periodo di ritorno dell'azione sismica. [t] = anni.
- a_g/g** Coefficiente di accelerazione al suolo.
- S_s** Coefficienti di Amplificazione Stratigrafica allo SLO/SLD/SLV/SLC.
- C_c** Coefficienti di Amplificazione di T_c 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.
- T_B** Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro di progetto.
- T_C** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di progetto.
- T_D** Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro di progetto.

CI Ed	V _N	V _R	Lat.	Long.	Q _g	CTop	S _T
	[t]	[t]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		
3	75	113	42.0492	14.7266	101	T1	1,00

LEGENDA:

CI Ed Classe dell'edificio.

Lat. Latitudine geografica del sito.

Long. Longitudine geografica del sito.

Q_g Altitudine geografica del sito.

CTop Categoria topografica (Vedi NOTE).

S_T Coefficiente di amplificazione topografica.

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

Categoria topografica.

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

T2: Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.

T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.

T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

5 - SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

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 par. 2.6.1 del D.M. 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 D.M. 14/01/2008.

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [D.M. 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 tabella 6.2.II del D.M. 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	$\gamma_{c'}$	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 D.M. 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:

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

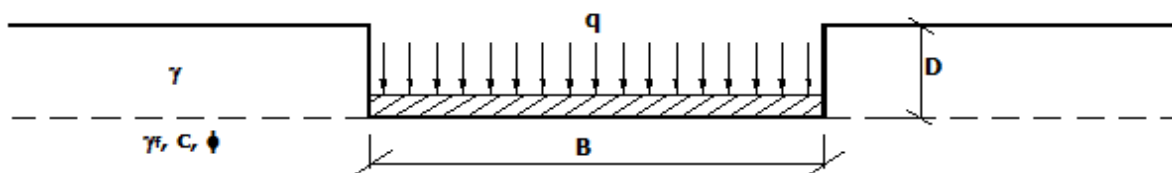
e_B = eccentricità parallela al lato di dimensione B ;

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

e_L = eccentricità parallela al lato di dimensione L ;

con $B' \leq L'$.

dove:



Calcolo dei fattori N_c, N_q, N_γ

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

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

con $B'/L' < 1$.

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

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_γ

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

dove:

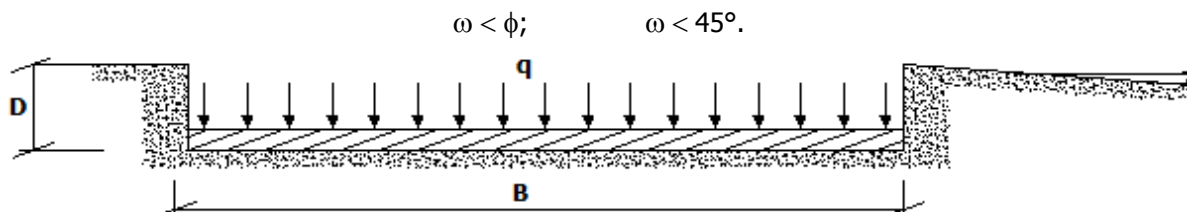
H = componente orizzontale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione;
V = componente verticale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione.

Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di campagna b_c, b_q, b_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 ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$b_c = 1 - \frac{2 \cdot \omega}{(2 + \pi)}$	$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$	$b_q = (1 - \tan \omega)^2 \cdot \cos \omega$
$b_\gamma = b_q / \cos \omega$	$b_\gamma = b_q / \cos \omega$

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_γ

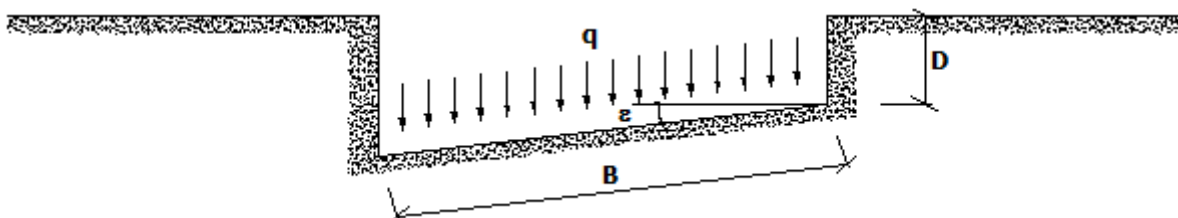
Indicando con ε la pendenza del piano di posa della fondazione, si ha:

Terreni puramente coesivi	Terreni dotati di attrito e coesione
---------------------------	--------------------------------------

$(c \neq 0, \phi = 0)$	$(c \neq 0, \phi \neq 0)$
$g_c = 1 - \frac{2 \cdot \varepsilon}{(2 + \pi)}$	$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$g_q = 1$	$g_q = (1 - \varepsilon \cdot \tan \phi)^2$
$g_\gamma = 1$	$g_\gamma = g_q$

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:

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

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

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

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

Correzione per fondazione tipo piastra

Bowles, al fine di limitare il contributo del termine " $B \cdot N_\gamma$ ", 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_γ :

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

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_γ	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 " $B \cdot N_\gamma$ " 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_γ

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

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

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
	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:

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

Calcolo dei fattori correttivi dovuti all'effetto inerziale Z_c, Z_q, Z_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:

Terreni puramente coesivi ($c \neq 0, \phi = 0$)	Terreni dotati di attrito e coesione ($c \neq 0, \phi \neq 0$)	
$Z_c = Z_q = Z_\gamma = 1$	$Z_c = 1 - 0,32 \cdot K_{hi}$	se $Z_c > 0$ altrimenti $Z_c = 0$

	$z_{\gamma} = z_q = \left(1 - \frac{K_{hi}}{\tan \phi}\right)^{0.35} \quad \text{se } \frac{K_{hi}}{\tan \phi} < 1 \quad \text{altrimenti } z_{\gamma} = z_q = 0$
--	---

dove:

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

$$K_{hi} = S_S \cdot S_T \cdot a_g / g;$$

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 è stato assunto pari a 2,3 (tabella 6.4.I del D.M. 14/01/2008).

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_{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:

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

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

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

VERIFICHE CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE ALLO SLU

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU																
IdFnd	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{P.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{d,Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Trave 20-21	2,02	5,00	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,064	0,130	N
Trave 15-16	2,14	7,40	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,130	O
Trave 16-17	1,98	4,79	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	N
Trave 18-19	1,49	3,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,087	0,130	N
Trave 17-18	2,62	8,05	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,130	O
Trave 9-15	2,02	6,85	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,084	0,170	N
Trave 1-3	2,29	6,83	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,074	0,170	N
Trave 2-4	1,65	7,13	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,079	0,130	N
Trave 10-16	1,12	2,92	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,116	0,130	O
Trave 4-10	1,80	8,00	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,072	0,130	N
Trave 4-5	1,49	6,34	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,088	0,130	O
Trave 6-7	1,51	6,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,086	0,130	N
Trave 7-8	1,64	7,41	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,079	0,130	O
Trave 5-6	1,60	6,55	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,081	0,130	N
Trave 5-11	2,09	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	N

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{P.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Trave 47-54	2,95	8,42	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	O
Trave 6-12	2,12	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,130	N
Trave 28-34	1,98	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	N
Trave 41-47	2,02	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,064	0,130	N
Trave 18-24	2,06	6,58	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,063	0,130	N
Trave 24-28	1,95	6,59	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,130	N
Trave 34-41	1,94	6,63	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,130	N
Trave 12-18	1,16	2,92	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,112	0,130	N
Trave 11-17	1,32	3,31	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,099	0,130	N
Trave 46-53	2,82	8,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	N
Trave 17-23	1,78	6,63	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,073	0,130	N
Trave 23-27	1,57	6,59	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,083	0,130	N
Trave 27-33	1,58	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,082	0,130	N
Trave 40-46	1,77	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,074	0,130	N
Trave 39-40	1,95	4,75	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,130	N
Trave 40-41	2,20	8,05	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,059	0,130	N
Trave 41-42	1,22	3,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,107	0,130	N
Trave 34-33	2,14	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,130	N
Trave 36-35	1,97	5,57	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	N
Trave 35-34	1,22	3,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,106	0,130	N
Trave 38-37	1,81	3,22	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,072	0,130	N
Trave 37-36	1,44	2,53	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,091	0,130	N
Trave 7-13	1,76	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,074	0,130	N
Trave 14-22	1,37	2,92	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,095	0,130	N
Trave 11-10	1,63	6,39	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,080	0,130	N
Trave 13-12	1,58	6,40	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,083	0,130	N
Trave 12-11	1,85	6,40	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,070	0,130	N
Trave 14-13	1,76	7,41	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,074	0,130	N
Trave 8-14	1,83	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,071	0,130	N
Trave 48-55	2,72	8,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,130	N
Trave 25-29	1,91	6,59	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,068	0,130	N
Trave 35-42	2,12	6,63	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,130	N
Trave 42-48	2,11	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	N
Trave 29-35	1,97	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	N

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{P,cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Trave 19-25	2,18	6,58	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,130	N
Trave 46-47	2,41	8,05	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,054	0,130	O
Trave 48-49	2,10	8,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	N
Trave 45-46	1,81	4,75	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,072	0,130	O
Trave 47-48	1,29	3,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,101	0,130	N
Trave 39-45	2,91	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,045	0,130	O
Trave 55-56	2,81	8,00	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	N
Trave 54-55	2,35	5,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,055	0,130	O
Trave 52-53	2,44	4,70	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,053	0,130	N
Trave 53-54	2,62	6,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,130	O
Trave 45-52	2,84	8,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	N
Trave 31-37	1,84	2,50	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,071	0,130	O
Trave 21-26	1,77	6,63	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,073	0,130	N
Trave 30-31	1,53	4,05	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,085	0,130	O
Trave 26-30	1,62	6,59	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,080	0,130	N
Trave 31-32	2,05	3,32	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,064	0,130	O
Trave 32-38	1,61	2,50	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,081	0,130	N
Trave 28-27	2,14	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,130	O
Trave 30-29	2,18	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,130	N
Trave 29-28	1,16	3,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,112	0,130	O
Trave 24-23	2,08	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	N
Trave 26-25	2,08	8,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	O
Trave 25-24	1,14	3,20	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,114	0,130	N
Trave 38-44	2,07	6,63	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,063	0,130	O
Trave 19-20	1,52	3,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,085	0,130	N
Trave 21-22	1,42	2,41	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,091	0,130	O
Trave 2c-51	3,08	4,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,042	0,130	N
Trave 33-40	1,67	6,58	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,078	0,130	O
Trave 3-4	1,91	7,46	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,068	0,130	N
Trave 44-50	2,08	6,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	O
Trave 42-43	1,64	5,57	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,079	0,130	N
Trave 36-2b	1,05	1,10	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,124	0,130	O
Trave 2b-43	2,23	5,53	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,058	0,130	N
Trave 56-3c	1,74	0,94	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,075	0,130	O
Trave 3-9	1,53	4,37	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,111	0,170	N

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{p.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Trave 1c-P1	3,08	4,60	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,042	0,130	O
Trave 2-1	1,80	7,25	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,072	0,130	N
Trave P1-56	1,65	1,46	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,079	0,130	O
Trave 49-50	1,31	3,32	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,099	0,130	N
Trave P1-51	1,63	3,00	2,20	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,080	0,130	O
Trave 50-2c	2,76	2,17	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	N
Trave 49-1c	1,10	2,18	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,118	0,130	O
Trave 43-44	1,32	5,75	1,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,098	0,130	N

LEGENDA:

Id_{Fnd}	Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
L_{x/y}	Dimensioni dell'elemento di fondazione.
R_{tz}	Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.
Z_{p.cmp}	Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
Z_{Fld}	Profondità della falda dal piano campagna.
Cmp T	Classificazione del comportamento del terreno ai fini del calcolo.
C.	Coefficienti correttivi per la formula di Terzaghi.
Terzaghi	
hi	
Q_{Ed}	Carico di progetto sul terreno.
Q_{Rd}	Resistenza di progetto del terreno.
R_f	[SI] = elemento con presenza di rinforzo; [NO] = elemento senza rinforzo.

7 - STIMA DEI CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI

I cedimenti delle fondazioni superficiali sono il risultato (l'integrale) delle deformazioni verticali del terreno sottostante la fondazione. Queste deformazioni sono conseguenti ad un'alterazione dello stato di tensione nel sottosuolo imputabile a vari motivi quali il carico trasmesso dalle strutture di fondazione, variazioni del regime delle pressioni neutre nel sottosuolo, vibrazioni indotte, scavi eseguiti nei pressi della fondazione.

Nel calcolo eseguito dal software vengono stimati i cedimenti prodotti dai carichi trasmessi dalla fondazione, che sono sempre presenti, e ne è stata valutata l'ammissibilità in condizioni di esercizio.

7.1 Calcolo dell'incremento delle tensioni

Gli incrementi di tensione indotti nel sottosuolo, dai carichi applicati in superficie, sono stati valutati mediante la teoria di Boussinesq, che definisce lo stato di tensione e deformazione indotto in un semispazio elastico da una forza concentrata P agente normalmente al suo piano limite (figura sottostante).

Gli incrementi di tensione nel sottosuolo, che generano i cedimenti, espressi in un sistema di coordinate cilindriche θ, z, r , sono determinate attraverso le seguenti relazioni:

$$\sigma_z = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{z^3}{R^5} \quad \sigma_r = -\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \left[-\frac{3 \cdot r^2 \cdot z}{R^3} + \frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot R}{(R + z)} \right]$$

$$\tau_{rz} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{z^2 \cdot r}{R^5} \quad \sigma_\theta = -\frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \left[\frac{z}{R} - \frac{R}{(R + z)} \right]$$

dove $R = \sqrt{r^2 + z^2}$.

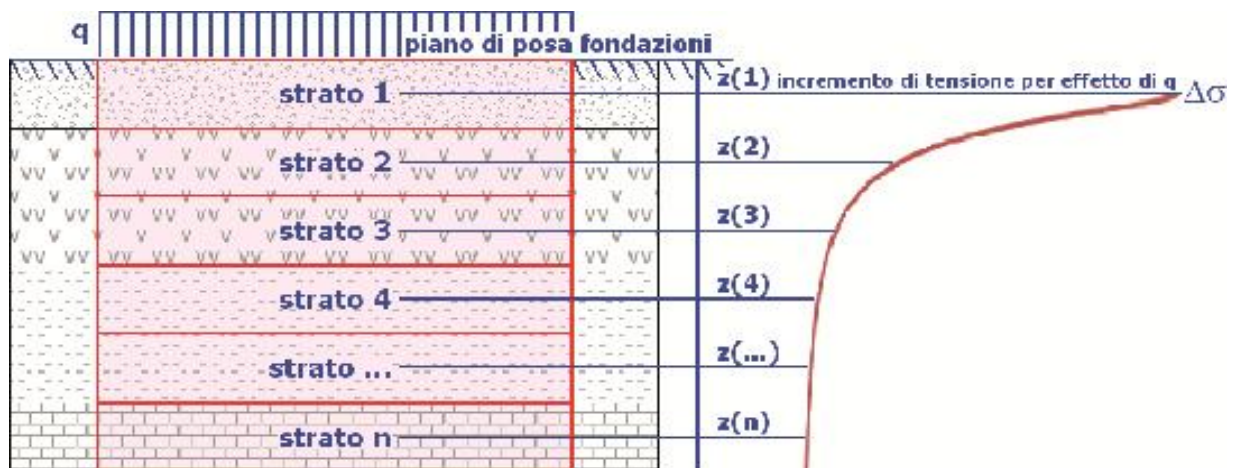
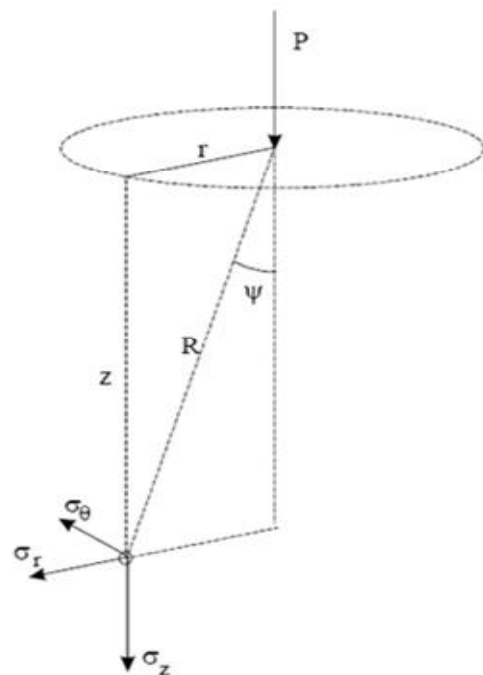
I valori delle tensioni radiali σ_r e tangenti σ_θ , proiettati sugli assi X e Y , diventano:

$$\sigma_x = \sigma_r \cdot \cos(\alpha) - \sigma_\theta \cdot \sin(\alpha);$$

$$\sigma_y = \sigma_r \cdot \sin(\alpha) + \sigma_\theta \cdot \cos(\alpha);$$

dove α è l'angolo formato dal raggio r con l'asse X .

Gli incrementi di tensione sono stati calcolati, per ogni combinazione di carico allo SLE e allo SLD, al centro di strati elementari (substrati) con cui si è discretizzato il sottosuolo in corrispondenza di ogni verticale di calcolo (vedi figura sottostante). L'altezza adottata per il substrato è di 100 cm.



Distribuzione delle forze al contatto del piano di posa

Per poter affrontare il problema in maniera generale, l'area di impronta della fondazione viene discretizzata in areole elementari sufficientemente piccole e si sostituisce all'azione ripartita, competente ad ogni singola areola, un'azione concentrata equivalente. Il terreno a contatto con la fondazione viene corrispondentemente discretizzato in elementi elastici, detti bounds, che lavorano nelle tre direzioni principali XYZ. Le fondazioni trasmettono agli elementi bounds le azioni provenienti dal calcolo in elevazione e su tale modello il solutore determina le azioni F_x, F_y, F_z agenti sul singolo bound. Inizialmente si ritiene il bound elastico e bidirezionale, ossia reagente anche a trazione, e in tale ipotesi viene condotto un calcolo lineare. Se, per effetto di eccentricità, si hanno bounds reagenti a trazione, si ridefinisce il legame costitutivo nell'ipotesi di assenza di resistenza a trazione e si effettua un calcolo NON lineare in cui sono definite aree di contatto parzializzate e vengono esclusi i bounds a trazione.

Attraverso questo procedimento, effettuato per tutte le combinazioni di carico, sono note le reazioni dei bounds compressi e quindi le forze (F_z) da cui calcolare gli incrementi di tensione nel sottosuolo in una serie di punti significativi.

Per ogni verticale in cui si è calcolato il cedimento, l'incremento di tensione nel sottosuolo è stato calcolato sommando gli effetti di tutte le forze elementari.

Inoltre, è stato considerato il decremento di tensione dovuto allo scavo, in modo da sottrarre all'intensità del carico applicato il valore della tensione litostatica agente sul piano di posa prima della realizzazione della fondazione.

7.2 Calcolo dei cedimenti

Noti gli incrementi di tensione nei vari strati, per il calcolo dei cedimenti viene adottato il metodo edometrico di Terzaghi, distinguendo tra terreni a grana grossa e terreni a grana fine.

• Terreni a grana grossa

Per questi terreni i cedimenti si estinguono immediatamente per cui il cedimento iniziale (w_0) coincide con quello finale (w_f).

In tal caso, per il calcolo del cedimento, sarebbe indispensabile far ricorso a procedimenti empirici che utilizzano i risultati di prove in sito.

Viste le difficoltà e l'incertezza nella stima di specifici parametri geotecnici, il cedimento è stato valutato utilizzando il metodo edometrico.

• Terreni a grana fina

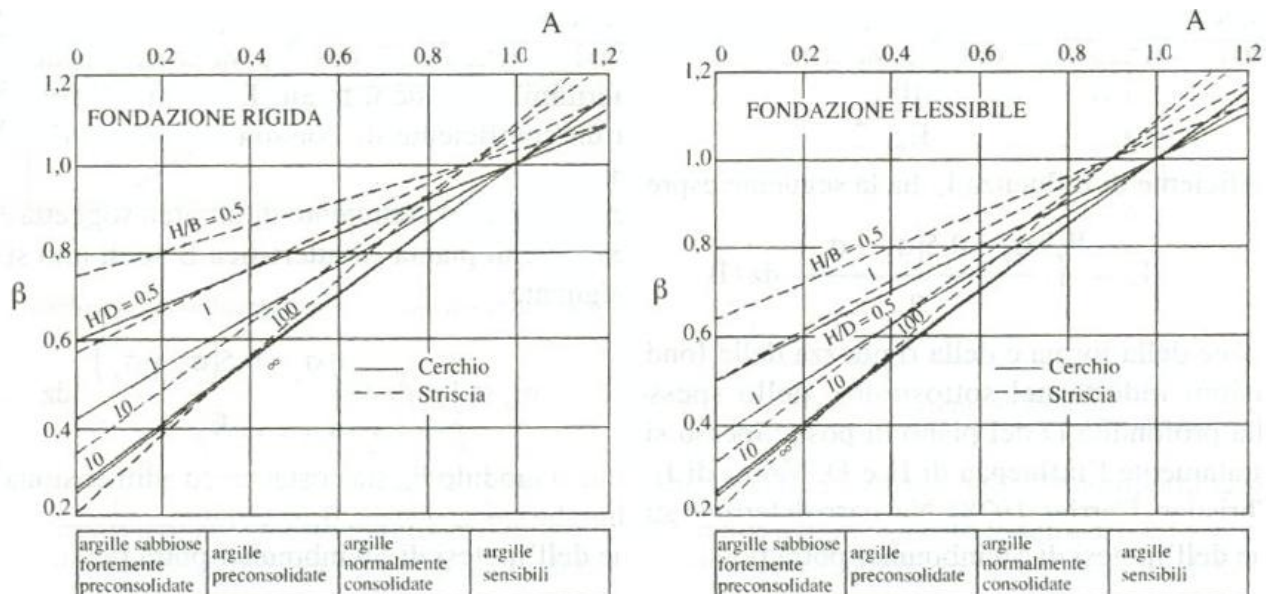
Il metodo edometrico fornisce il cedimento a lungo termine, NON consentendo di valutare il cedimento iniziale. Calcolato l'incremento di tensioni $\Delta\sigma$ nei vari strati, ognuno di spessore H_i e modulo $E_{ed,i}$, il cedimento edometrico risulta pari a:

$$w_{ed} = \sum_i \frac{\Delta\sigma_i}{E_{ed,i}} \cdot H_i$$

Per la stima del cedimento di consolidazione si utilizza il metodo di Skempton e Bjerrum che esprime tale cedimento come un'aliquota di quello edometrico, pertanto:

$$W_c = \beta \cdot W_{ed}$$

I valori del coefficiente β sono riportati in grafici in funzione della rigidezza della fondazione, della forma della fondazione, dello spessore dello strato deformabile e del coefficiente di Skempton "A" (vedi figura sottostante).



Il coefficiente "A" di Skempton può essere ricavato in funzione del grado di consolidazione del terreno come indicato nella seguente tabella.

Grado di consolidazione del terreno	$A_{skempton}$
basso	$0,75 \div 1,50$
normale	$0,50 \div 1,00$
poco sovraconsolidato	$0,20 \div 0,50$
molto sovraconsolidato	$0,00 \div 0,25$

Il software utilizza il valore medio degli intervalli indicati. Tuttavia il tecnico è libero di inserire manualmente tali parametri qualora siano state fatte indagini specifiche relative alla loro determinazione.

Il cedimento iniziale w_0 è calcolato con la teoria dell'elasticità in termini di tensioni totali secondo la seguente espressione:

$$w_0 = \frac{q \cdot B}{E_u} \cdot I_w$$

in cui:

- E_u è il modulo di elasticità NON drenato;
- q è il carico (medio ripartito) sulla fondazione;
- B è la larghezza caratteristica della fondazione,
- I_w è il coefficiente di influenza.

Il coefficiente di influenza I_w ha la seguente espressione:

$$I_w = \int_0^{H/B} \frac{\sigma_z - 0.5 \cdot (\sigma_x + \sigma_y)}{q} dz/B$$

in cui H è lo spessore dello strato deformabile e le σ_x e σ_y sono calcolate con un coefficiente di Poisson che, in condizioni NON drenate, è assunto pari a 0,5.

Il modulo di elasticità NON drenato di un terreno può essere ricavato dalla seguente tabella in cui è messo in relazione con la coesione NON drenata (c_u), l'indice di plasticità (I_p) e il grado di consolidazione del terreno (OCR). Tuttavia il tecnico è libero di inserire manualmente tali parametri qualora siano state fatte indagini specifiche relative alla loro determinazione.

Rapporto $K_u = (E_u/c_u)$			
Grado di consolidazione del terreno (OCR)	$I_p < 0,3$	$0,3 < I_p < 0,5$	$I_p > 0,5$
basso/normale (< 3)	800	400	200
poco sovraconsolidato (da 3 a 5)	500	300	150
molto sovraconsolidato (> 5)	300	200	100

Il cedimento finale è pari a:

$$w_f = w_0 + w_c.$$

7.3 Calcolo delle distorsioni angolari

Noti i cedimenti in un certo numero di punti significativi, è possibile calcolare le distorsioni angolari (β) come:

$$\beta_{ij} = \Delta w_{ij}/L_{ij};$$

dove:

- Δw_{ij} : cedimento differenziale tra i punti i e j ;
- L_{ij} : distanza tra la coppia di punti i e j .

Sia nel tabulato che nelle tabelle seguenti, per comodità di lettura, sono riportati i valori inversi delle distorsioni angolari, confrontati con il valore inverso della distorsione ammissibile compatibile con la funzionalità dell'intera opera.

GEOTECNICA - VERIFICHE DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali				
Id_w	$Id_{\Delta w}$	$(L/\Delta w)_{i-f}$	$(L/\Delta w)_{lim}$	CS
001	C0015-C0013	23.365,06	200	NS
002	C0014-C0016	6.502,78	200	32,51
003	C0016-C0022	9.626,97	200	48,13
004	C0022-C0023	36.343,95	200	NS
005	C0023-C0024	12.953,81	200	64,77
006	C0024-C0026	5.286,23	200	26,43
007	C0017-C0030	6.433,90	200	32,17
008	C0030-C0034	33.085,65	200	NS
009	C0034-C0076	7.891,13	200	39,46
010	C0076-C0077	7.796,48	200	38,98
011	C0003-C0004	3.009,60	200	15,05
012	C0004-C0006	4.713,54	200	23,57
013	C0006-C0007	15.215,41	200	76,08
014	C0007-C0008	17.120,87	200	85,60
015	C0008-C0001	3.375,32	200	16,88
016	C0001-C0002	17.693,78	200	88,47
017	C0002-C0078	2.109,25	200	10,55
018	C0052-C0040	5.027,67	200	25,14
019	C0040-C0091	17.304,78	200	86,52

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali

Idw	Id _{Δw}	(L/ΔW) _{i-f}	(L/ΔW) _{lim}	CS
020	C0091-C0124	4.531,87	200	22,66
021	C0125-C0092	6.446,07	200	32,23
022	C0092-C0035	NS	200	NS
023	C0035-C0054	4.580,83	200	22,90
024	C0121-C0130	1.945,99	200	9,73
025	C0056-C0036	5.294,17	200	26,47
026	C0036-C0068	11.024,81	200	55,12
027	C0068-C0067	10.699,16	200	53,50
028	C0067-C0072	6.678,96	200	33,39
029	C0072-C0071	2.452,53	200	12,26
030	C0059-C0057	3.848,05	200	19,24
031	C0057-C0037	10.117,39	200	50,59
032	C0037-C0064	NS	200	NS
033	C0064-C0159	10.860,18	200	54,30
034	C0159-C0146	7.489,03	200	37,45
035	C0105-C0049	5.619,36	200	28,10
036	C0049-C0031	19.431,28	200	97,16
037	C0031-C0089	NS	200	NS
038	C0089-C0104	30.044,91	200	NS
039	C0104-C0157	18.280,37	200	91,40
040	C0013-C0014	6.338,38	200	31,69
041	C0014-C0011	9.951,22	200	49,76
042	C0011-C0003	5.145,98	200	25,73
043	C0015-C0016	3.558,39	200	17,79
044	C0016-C0017	17.676,25	200	88,38
045	C0017-C0004	9.817,65	200	49,09
046	C0022-C0030	5.989,89	200	29,95
047	C0030-C0006	19.682,00	200	98,41
048	C0006-C0052	3.075,33	200	15,38
049	C0052-C0054	9.055,83	200	45,28
050	C0054-C0056	27.659,30	200	NS
051	C0056-C0057	14.292,53	200	71,46
052	C0057-C0049	29.036,16	200	NS
053	C0049-C0050	7.082,44	200	35,41
054	C0023-C0034	4.751,63	200	23,76
055	C0034-C0007	13.807,51	200	69,04
056	C0007-C0040	6.221,47	200	31,11
057	C0040-C0035	11.884,62	200	59,42
058	C0035-C0036	16.222,41	200	81,11
059	C0036-C0037	15.981,15	200	79,91
060	C0037-C0031	11.905,78	200	59,53
061	C0031-C0032	6.535,29	200	32,68
062	C0024-C0076	6.773,95	200	33,87
063	C0076-C0001	10.075,95	200	50,38
064	C0026-C0077	5.472,47	200	27,36
065	C0077-C0078	9.515,66	200	47,58
066	C0008-C0091	6.422,06	200	32,11
067	C0091-C0092	10.001,55	200	50,01
068	C0092-C0068	20.484,97	200	NS
069	C0068-C0064	10.240,28	200	51,20
070	C0064-C0089	10.690,46	200	53,45
071	C0089-C0090	6.800,33	200	34,00
072	C0002-C0124	3.760,37	200	18,80
073	C0124-C0125	39.651,41	200	NS
074	C0125-C0121	3.681,60	200	18,41
075	C0121-C0072	18.669,39	200	93,35
076	C0130-C0071	2.994,86	200	14,97
077	C0071-C0146	6.871,06	200	34,36
078	C0146-C0157	6.557,66	200	32,79
079	C0157-C0151	2.541,84	200	12,71
080	C0067-C0159	8.830,92	200	44,15
081	C0165-C0174	2.894,56	200	14,47
082	C0174-C0151	469,94	200	2,35
083	C0115-C0050	8.314,67	200	41,57
084	C0050-C0032	28.924,28	200	NS
085	C0032-C0090	40.168,78	200	NS
086	C0090-C0112	8.372,97	200	41,86
087	C0059-C0105	17.442,07	200	87,21
088	C0105-C0115	8.877,04	200	44,39
089	C0104-C0165	19.252,05	200	96,26
090	C0165-C0112	1.920,13	200	9,60

Id _w	Id _{Δw}	(L/ΔW) _{i-f}	(L/ΔW) _{lim}	CS
-----------------	------------------	-----------------------	-----------------------	----

LEGENDA:

Id_w	Identificativo del Punto Significativo (punto in cui viene calcolato il cedimento).
Id_{Δw}	Identificativo del cedimento differenziale.
(L/ΔW)_{i-f}	Distorsione angolare ([NS] = Non Significativo - per valori di (L/ΔW) _{i-f} maggiori o uguali di 50.000).
(L/ΔW)_{lim}	Distorsione angolare limite.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).

8 - VERIFICA A SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA

La verifica a scorrimento sul piano di posa della fondazione, eseguita allo SLU (SLV), consiste nel confronto fra la forza agente parallelamente al piano di scorrimento (azione, F_d) e la resistenza (R_d), ossia la risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano, sommata, in casi particolari, alla risultante delle tensioni limite agenti sulle superfici laterali della fondazione.

La resistenza R_d della fondazione allo scorrimento è data dalla somma di tre componenti:

- 1) Componente dovuta all'attrito F_{RD1} , pari a:

$$F_{RD1} = N_d \cdot \tan \phi;$$

dove:

N_d = carico efficace di progetto, normale alla base della fondazione;

ϕ = angolo di resistenza a taglio (d'attrito) del terreno a contatto con la fondazione.

- 2) Componente dovuta all'adesione F_{RD2} , pari a:

$$F_{RD2} = A' \cdot c;$$

dove:

A' = superficie efficace della base della fondazione;

c = coesione del terreno, pari alla coesione efficace (c') in condizioni drenate o alla coesione non drenata (c_u) in condizioni non drenate.

- 3) Componente dovuta all'affondamento F_{RD3} della fondazione. Tale eventuale contributo resistente è dovuto alla spinta passiva che si genera sul lato verticale della fondazione quando le forze orizzontali la spingono contro lo scavo (incasso).

Si evidenzia che nel caso in cui lo sforzo normale sia di trazione i primi due contributi vengono annullati.

Inoltre, nel caso in cui il terreno sia dotato di coesione non drenata e attrito, il programma esegue la verifica a scorrimento ignorando il contributo dovuto all'attrito terra-fondazione e calcola l'aliquota dovuta all'adesione con riferimento alla coesione non drenata.

Si precisa che il valore relativo alla colonna F_{Rd} , di cui nella tabella seguente, è da intendersi come il valore di progetto della resistenza allo scorrimento R_d , ossia il rapporto fra la resistenza ed il valore del coefficiente parziale di sicurezza γ_R relativo allo scorrimento della struttura di fondazione su piano di posa, in relazione all'approccio utilizzato. Nel caso in esame il coefficiente parziale di sicurezza γ_R è stato assunto pari a **1,10** (tabella 6.4.I del D.M. 14/01/2008).

Sia nei "Tabulati di calcolo" che nella tabella seguente si riporta l'esito della suddetta verifica.

GEOTECNICA - VERIFICHE A SCORRIMENTO**Geotecnica - Verifiche a scorrimento**

Elm	Dir	N _{Ed} [N]	M _{Ed} [N-m]	V _{Ed} [N]	F _{RD1} [N]	F _{RD2} [N]	F _{RD3} [N]	F _{RD} [N]	CS
Trave 20-21	B	549.279	-115.328	63.757	0	935551	3051076	3986627	62,53
	L	493.816	-16.715	-94.369	0	970550	1014289	1984839	21,03
Trave 15-16	B	775.298	31.245	-112.349	0	1252546	4399509	5652054	50,31
	L	833.017	-171.817	-137.225	0	1208538	1010290	2218827	16,17
Trave 16-17	B	480.944	12.320	-64.119	0	900891	2852818	3753709	58,54
	L	526.308	2.285	-88.480	0	986994	1010023	1997017	22,57
Trave 18-19	B	317.265	-46.860	36.784	0	472752	1906589	2379341	64,68
	L	299.013	-93.116	-59.691	0	436893	998275	1435168	24,04
Trave 17-18	B	746.630	-8.519	-95.360	0	1561257	4778181	6339438	66,48
	L	778.738	-119.654	-150.138	0	1389200	1005484	2394684	15,95
Trave 9-15	B	810.163	406.967	-128.405	0	1018392	4426650	5445042	42,41
	L	744.333	119.659	104.202	0	971711	1030408	2002120	19,21

...

Geotecnica - Verifiche a scorrimento

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N-m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Trave 1-3	B	847.737	430.051	-155.301	0	1155734	4408389	5564124	35,83
	L	772.765	43.291	103.907	0	1112785	1029337	2142122	20,62
Trave 2-4	B	789.563	89.842	-172.394	0	1131474	4221870	5353344	31,05
	L	706.904	183.659	99.119	0	1080116	1005391	2085507	21,04
Trave 10-16	B	282.891	-2.573	-56.878	0	472934	1721596	2194530	38,58
	L	253.978	70.828	41.765	0	401017	990875	1391892	33,33
Trave 4-10	B	950.194	50.061	-170.821	0	1635103	4782754	6417857	37,57
	L	852.294	34.528	112.292	0	1587857	1014961	2602818	23,18
Trave 4-5	B	645.704	158.600	-83.033	0	1147197	3819526	4966724	59,82
	L	704.841	-111.024	-144.552	0	1055528	1008754	2064282	14,28
Trave 6-7	B	727.955	48.088	71.168	0	1229184	3717186	4946370	69,50
	L	657.217	-77.059	-140.006	0	1094402	1013921	2108323	15,06
Trave 7-8	B	859.909	45.811	92.719	0	1521011	4436382	5957393	64,25
	L	742.816	-56.531	-167.175	0	1389965	1013354	2403320	14,38
Trave 5-6	B	704.278	137.454	-74.683	0	1254218	3929087	5183305	69,40
	L	735.844	-80.125	-147.819	0	1165397	1015078	2180474	14,75
Trave 5-11	B	848.670	43.527	-169.210	0	1609467	4815261	6424728	37,97
	L	795.227	74.210	98.770	0	1511833	1007825	2519658	25,51
Trave 47-54	B	605.099	-131.588	246.320	0	1474334	4993936	6468270	26,26
	L	667.239	161.434	185.508	0	1285415	1006744	2292160	12,36
Trave 6-12	B	802.854	155.070	-170.925	0	1563077	4814172	6377249	37,31
	L	788.513	73.018	87.108	0	1516785	1007655	2524440	28,98
Trave 28-34	B	553.286	85.870	-84.407	0	1273084	3912700	5185785	61,44
	L	544.915	-29.864	-73.117	0	1272019	1005092	2277111	31,14
Trave 41-47	B	509.338	96.322	-84.322	0	1261469	3923910	5185379	61,50
	L	469.859	-30.872	-73.337	0	1256465	1004893	2261359	30,84
Trave 18-24	B	584.136	89.182	-112.217	0	1293166	3886103	5179270	46,15
	L	605.811	-56.305	-72.741	0	1217561	1003393	2220954	30,53
Trave 24-28	B	576.315	86.579	-95.906	0	1273660	3906234	5179894	54,01
	L	583.274	-28.880	-72.976	0	1280190	1005344	2285534	31,32
Trave 34-41	B	534.457	92.529	-84.693	0	1270830	3933893	5204724	61,45
	L	510.406	-29.958	-73.514	0	1270685	1005146	2275832	30,96
Trave 12-18	B	250.094	54.678	-55.378	0	444539	1713433	2157972	38,97
	L	263.594	-61.197	-32.423	0	428354	989141	1417495	43,72
Trave 11-17	B	286.539	45.884	-105.670	0	571307	1930298	2501605	23,67
	L	277.610	-101.539	-86.619	0	402771	986490	1389261	16,04
Trave 46-53	B	553.214	-178.400	114.539	0	1372614	4941062	6313676	55,12
	L	632.809	114.329	107.040	0	1330349	1004735	2335084	21,81
Trave 17-23	B	668.245	39.308	-113.638	0	1273745	3936292	5210037	45,85
	L	657.461	-106.258	-81.293	0	1137435	1008212	2145647	26,39
Trave 23-27	B	687.077	10.969	-96.572	0	1251510	3941961	5193471	53,78
	L	641.393	89.864	84.286	0	1149933	1014743	2164676	25,68
Trave 27-33	B	662.334	-14.389	-85.174	0	1279867	3952347	5232214	61,43
	L	620.329	89.080	84.540	0	1133775	1014417	2148192	25,41
Trave 40-46	B	467.200	-138.590	84.797	0	1160016	3983524	5143540	60,66
	L	519.374	72.017	86.077	0	1124318	1003719	2128037	24,72
Trave 39-40	B	370.182	63.608	-62.678	0	716457	2794725	3511182	56,02
	L	319.018	90.048	57.258	0	681503	999981	1681484	29,37
Trave 40-41	B	695.488	70.944	-93.524	0	1505604	4788601	6294205	67,30
	L	632.680	73.057	97.317	0	1476513	1010989	2487502	25,56
Trave 41-42	B	210.960	-21.706	35.947	0	594263	1858687	2452950	68,24
	L	222.075	-33.442	-40.486	0	555880	987401	1543280	38,12
Trave 34-33	B	696.205	-81.795	93.998	0	1630983	4806125	6437108	68,48
	L	717.135	54.117	103.101	0	1544218	1007933	2552151	24,75
Trave 36-35	B	491.493	16.772	-66.661	0	809489	3316919	4126408	61,90
	L	484.135	166.153	70.737	0	727188	1012026	1739215	24,59
Trave 35-34	B	229.185	19.578	-35.953	0	599400	1860006	2459406	68,41
	L	233.566	32.666	40.575	0	560638	987951	1548589	38,17
Trave 38-37	B	261.120	31.548	-41.753	0	456342	1898584	2354926	56,40
	L	244.358	-41.287	40.863	0	551340	1001393	1552734	38,00
Trave 37-36	B	210.292	24.360	-31.772	0	339522	1488825	1828347	57,55
	L	200.910	72.872	32.095	0	325292	999429	1324720	41,28
Trave 7-13	B	748.539	44.186	-180.065	0	1532133	4823848	6355981	35,30
	L	770.464	128.185	94.105	0	1367100	1005216	2372316	25,21
Trave 14-22	B	270.725	55.073	-55.852	0	515709	1724604	2240313	40,11
	L	313.851	-21.139	-39.117	0	526750	1003393	1530143	39,12
Trave 11-10	B	532.155	-27.822	83.696	0	1210906	3760892	4971798	59,40
	L	579.884	14.934	124.774	0	1298677	996705	2295382	18,40
Trave 13-12	B	652.359	86.740	-74.038	0	1059238	3794455	4853693	65,56
	L	603.220	149.937	124.550	0	970613	1006439	1977052	15,87

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N-m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Trave 12-11	B	701.564	91.931	-73.505	0	1171198	3818442	4989640	67,88
	L	677.203	10.213	124.722	0	1299877	1011727	2311605	18,53
Trave 14-13	B	780.707	87.013	-93.151	0	1224645	4404307	5628952	60,43
	L	690.303	-67.773	144.265	0	1369770	1009873	2379643	16,49
Trave 8-14	B	771.984	116.986	-175.562	0	1579479	4833673	6413152	36,53
	L	907.450	-62.344	-110.723	0	1554016	1014275	2568290	23,20
Trave 48-55	B	603.612	-82.907	110.140	0	1474505	4858237	6332742	57,50
	L	634.374	94.036	88.682	0	1439363	1006916	2446279	27,58
Trave 25-29	B	560.848	57.333	-95.161	0	1300168	3900534	5200702	54,65
	L	580.101	-29.482	-75.551	0	1296039	1005444	2301483	30,46
Trave 35-42	B	520.057	46.592	-83.811	0	1300653	3920220	5220872	62,29
	L	508.137	-32.399	-75.920	0	1291514	1005619	2297132	30,26
Trave 42-48	B	493.714	44.784	-83.316	0	1298027	3903774	5201801	62,43
	L	466.287	-34.244	-75.626	0	1269051	1005292	2274343	30,07
Trave 29-35	B	538.293	48.103	-83.641	0	1292034	3903297	5195332	62,11
	L	542.087	-30.304	-75.612	0	1293570	1005320	2298890	30,40
Trave 19-25	B	554.708	69.649	-111.199	0	1195989	3873054	5069044	45,59
	L	587.462	-98.357	-75.367	0	1121747	1000785	2122531	28,16
Trave 46-47	B	667.780	69.568	-93.096	0	1399660	4783050	6182710	66,41
	L	611.768	107.378	103.171	0	1351898	1010064	2361962	22,89
Trave 48-49	B	595.231	-53.045	99.162	0	1574413	4876401	6450814	65,05
	L	600.609	-83.901	-104.622	0	1454132	1010947	2465079	23,56
Trave 45-46	B	323.171	44.021	-62.259	0	839772	2773269	3613041	58,03
	L	282.403	49.193	60.863	0	784384	992441	1776825	29,19
Trave 47-48	B	202.052	-24.260	35.812	0	607097	1863958	2471055	69,00
	L	217.340	30.055	41.001	0	558984	990179	1549163	37,78
Trave 39-45	B	602.334	33.760	-83.173	0	1252474	3932755	5185229	62,34
	L	568.134	35.684	90.342	0	1260951	1012982	2273933	25,17
Trave 55-56	B	537.137	-108.981	98.578	0	1498827	4784514	6283342	63,74
	L	630.830	79.250	114.762	0	1433507	1014516	2448023	21,33
Trave 54-55	B	340.143	-68.615	57.236	0	953394	3035969	3989363	69,70
	L	375.606	26.307	72.646	0	967199	1010843	1978042	27,23
Trave 52-53	B	373.043	14.847	-61.551	0	923796	2787195	3710991	60,29
	L	314.768	31.622	65.828	0	875323	1008135	1883458	28,61
Trave 53-54	B	522.611	29.964	-73.933	0	1141709	3712048	4853757	65,65
	L	460.851	63.815	88.414	0	1102876	1017608	2120484	23,98
Trave 45-52	B	580.927	-86.511	110.475	0	1393409	4891997	6285406	56,89
	L	688.936	122.785	112.789	0	1364984	1014164	2379149	21,09
Trave 31-37	B	168.653	3.154	-31.677	0	357348	1454836	1812184	57,21
	L	179.169	29.538	-31.763	0	405624	986740	1392364	43,84
Trave 21-26	B	547.536	78.999	-111.346	0	1027416	3916191	4943607	44,40
	L	613.886	-166.510	-84.091	0	975830	1004305	1980135	23,55
Trave 30-31	B	366.197	21.299	-51.321	0	807445	2418342	3225787	62,86
	L	393.977	-27.515	-51.445	0	781340	1013460	1794799	34,89
Trave 26-30	B	580.007	76.546	-94.947	0	1266319	3936588	5202907	54,80
	L	636.732	-7.486	-83.672	0	1339381	1014787	2354168	28,14
Trave 31-32	B	253.425	-5.413	43.105	0	527205	1944786	2471991	57,35
	L	233.775	-72.147	-42.007	0	440655	995090	1435745	34,18
Trave 32-38	B	195.395	72.667	-32.720	0	380986	1519001	1899987	58,07
	L	213.542	-26.767	-34.246	0	366560	997415	1363976	39,83
Trave 28-27	B	716.068	-79.144	94.016	0	1631577	4802832	6434408	68,44
	L	741.001	60.992	107.212	0	1529873	1007403	2537276	23,67
Trave 30-29	B	695.853	33.320	-98.487	0	1661473	4801445	6462918	65,62
	L	662.009	31.161	107.329	0	1599362	1006018	2605380	24,27
Trave 29-28	B	247.673	20.319	-35.966	0	599965	1860905	2460870	68,42
	L	245.288	32.582	42.183	0	569289	988514	1557803	36,93
Trave 24-23	B	735.834	-86.597	93.741	0	1598115	4802040	6400155	68,27
	L	764.701	79.705	127.563	0	1488482	1006824	2495305	19,56
Trave 26-25	B	742.169	29.264	-98.192	0	1677991	4801414	6479405	65,99
	L	689.106	44.545	127.649	0	1567102	1005970	2573072	20,16
Trave 25-24	B	266.406	18.284	-35.911	0	605302	1862233	2467535	68,71
	L	257.162	36.556	50.251	0	560581	989060	1549641	30,84
Trave 38-44	B	516.868	168.992	-85.718	0	1231618	4048019	5279637	61,59
	L	553.937	-36.535	-89.751	0	1229466	1013211	2242678	24,99
Trave 19-20	B	370.066	-61.677	37.470	0	501480	1890371	2391851	63,83
	L	341.787	-76.396	-58.349	0	474110	1012213	1486323	25,47
Trave 21-22	B	254.473	-70.786	32.686	0	402421	1491803	1894224	57,95
	L	222.786	-15.320	-46.043	0	407292	997676	1404967	30,51
Trave 2c-51	B	1.219.937	98.911	79.032	0	773364	2856904	3630267	45,93
	L	989.926	120.518	-77.682	0	810004	1037042	1847045	23,78

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N-m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Trave 33-40	B	618.197	-34.079	-85.055	0	1024577	3936638	4961216	58,33
	L	580.732	184.748	84.560	0	874438	1009844	1884281	22,28
Trave 3-4	B	701.975	106.986	-111.485	0	1091214	4429614	5520827	49,52
	L	760.890	-234.900	-169.636	0	1038419	996545	2034963	12,00
Trave 44-50	B	477.818	111.647	-84.713	0	1238419	3983518	5221937	61,64
	L	506.389	-57.362	-88.794	0	1183429	1013372	2196801	24,74
Trave 42-43	B	409.112	-48.034	66.463	0	1006193	3293434	4299627	64,69
	L	416.490	-74.137	-70.583	0	945708	1005156	1950864	27,64
Trave 36-2b	B	55.336	9.504	-13.971	0	97422	627833	725255	51,91
	L	57.070	-30.894	-13.595	0	92969	964888	1057858	77,81
Trave 2b-43	B	430.934	32.978	-69.816	0	670068	3281278	3951346	56,60
	L	470.608	213.954	61.312	0	595851	1008278	1604129	26,16
Trave 56-3c	B	94.449	13.311	-12.650	0	125169	579460	704629	55,70
	L	93.724	-16.003	-12.211	0	148318	1022965	1171283	95,92
Trave 3-9	B	568.668	318.892	-93.508	0	631736	2907634	3539370	37,85
	L	520.429	-18.727	68.735	0	677772	1026208	1703979	24,79
Trave 1c-P1	B	410.301	-94.000	62.974	0	662126	2795958	3458084	54,91
	L	343.312	38.585	-59.371	0	813073	1014959	1828032	30,79
Trave 2-1	B	800.478	-149.640	108.683	0	1206143	4310976	5517119	50,76
	L	872.482	164.945	185.405	0	1169036	1008962	2177998	11,75
Trave P1-56	B	104.331	-21.077	21.300	0	232530	886760	1119290	52,55
	L	85.893	-13.603	-19.444	0	238272	983055	1221326	62,81
Trave 49-50	B	221.482	-15.088	42.874	0	471069	1950607	2421676	56,48
	L	262.241	99.539	42.513	0	397192	998778	1395970	32,84
Trave P1-51	B	219.698	-61.773	53.911	184349	0	275449	459798	8,53
	L	216.465	-75.428	-54.266	181636	0	177709	359345	6,62
Trave 50-2c	B	183.254	27.702	-27.912	0	302305	1294341	1596646	57,20
	L	191.907	-53.721	-28.810	0	304174	1012451	1316625	45,70
Trave 49-1c	B	170.869	-27.836	28.573	0	213986	1279828	1493815	52,28
	L	145.059	-83.790	-27.860	0	170716	990391	1161107	41,68
Trave 43-44	B	467.631	-63.472	73.403	0	803774	3425675	4229449	57,62
	L	525.739	188.763	69.391	0	733622	1012731	1746353	25,17

LEGENDA:

Elm	Elemento di fondazione su cui si esegue la verifica.
Dir	Direzione di verifica: per Plinti [B]= asse locale 2; [L]= asse locale 3. Per Winkler [B]= asse locale 3; [L]= asse locale 1. Per Platee [B]= asse globale Y; [L]= asse globale X.
F_{RD1}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per attrito terra-fondazione.
F_{RD2}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per adesione.
F_{RD3}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per affondamento.
F_{RD}	Resistenza allo scorrimento.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
N_{Ed}, M_{Ed}, V_{Ed}	Sollecitazioni di progetto.

1 - Scuola materna

DATI GENERALI ANALISI SISMICA

Dati generali analisi sismica											
Ang	NV	CD	MP	Dir	TS	EcA	IrTmp	C.S.T.	RP	RH	ξ
[°]											
0	15	B	ca	X Y	[T +C] [T +C]	S	S	C	NO	NO	5

LEGENDA:

- 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 struttura sismo-resistente prevalente: [ca] = calcestruzzo armato - [caOld] = calcestruzzo armato esistente - [muOld] = muratura esistente - [muNew] = muratura nuova - [muArm] = muratura armata - [ac] = acciaio.
- Dir** Direzione del sisma.
- TS** Tipologia della struttura:
Cemento armato: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [P] = Pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti- [2P NC] = Due pareti per direzione non accoppiate - [P NC] = Pareti non accoppiate - [DT] = Deformabili torsionalmente - [PI] = Pendolo inverso - [PM] = Pendolo inverso intelaiate monopiano;
Muratura: [P] = un solo piano - [PP] = più di un piano;
Acciaio: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [CT] = controventi concentrici diagonale tesa - [CV] = controventi concentrici a V - [M] = mensola o pendolo inverso - [TT] = telaio con tamponature.
- EcA** Eccentricita' accidentale: [S] = considerata come condizione di carico statica aggiuntiva - [N] = Considerata come incremento delle sollecitazioni.
- IrTmp** Per piani con distribuzione dei tamponamenti in pianta fortemente irregolare, l'eccentricità accidentale è stata incrementata di un fattore pari a 2: [SI] = Distribuzione tamponamenti irregolare fortemente - [NO] = Distribuzione tamponamenti regolare.
- C.S.T.** Categoria di sottosuolo: [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 - [S1] = Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche - [S2] = Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.
- RP** Regolarita' in pianta: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- RH** Regolarita' in altezza: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- ξ Coefficiente viscoso equivalente.
- NOTE** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.

DATI GENERALI ANALISI SISMICA - FATTORI DI STRUTTURA

Fattori di struttura								
Dir. X				Dir. Y				Dir. Z
q	q ₀	α_u/α_1	K _w	q	q ₀	α_u/α_1	K _w	q
2,760	3,45	1,15	-	2,760	3,45	1,15	-	1,500

LEGENDA:

- q** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU (Fattore di struttura).
- q₀** Valore di base.
- α_u/α_1** Rapporto di sovrarresistenza.
- K_w** Fattore di riduzione di q₀.

Stato Limite	T _r	a _g /g	Amplif. Stratigrafica		F ₀	T* _c	T _B	T _C	T _D
			S _s	C _c					
	[t]					[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	68	0,0512	1,500	1,489	2,577	0,347	0,172	0,517	1,805
SLD	114	0,0603	1,500	1,438	2,632	0,385	0,185	0,554	1,841
SLV	1073	0,1257	1,497	1,328	2,686	0,491	0,217	0,652	2,103
SLC	2203	0,1513	1,449	1,296	2,769	0,528	0,228	0,685	2,205

LEGENDA:

- T_r** Periodo di ritorno dell'azione sismica. [t] = anni.
- a_g/g** Coefficiente di accelerazione al suolo.
- S_s** Coefficienti di Amplificazione Stratigrafica allo SLO/SLD/SLV/SLC.
- C_c** Coefficienti di Amplificazione di T_c 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.
- T_B** Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro di progetto.
- T_C** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di progetto.

Stato Limite	T_r	a_g/g	Amplif. Stratigrafica		F_0	T^*_c	T_B	T_c	T_D
			S_s	C_c					
	[t]					[s]	[s]	[s]	[s]

T_D Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro di progetto.

CI Ed	V_N	V_R	Lat.	Long.	Q_g	CTop	S_T
	[t]	[t]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		
3	75	113	42.0492	14.7266	102	T1	1,00

LEGENDA:

CI Ed Classe dell'edificio.

Lat. Latitudine geografica del sito.

Long. Longitudine geografica del sito.

Q_g Altitudine geografica del sito.

CTop Categoria topografica (Vedi NOTE).

S_T Coefficiente di amplificazione topografica.

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

Categoria topografica.

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

T2: Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.

T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.

T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

- 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.

- 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 par. 2.6.1 del D.M. 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 D.M. 14/01/2008.

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [D.M. 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 tabella 6.2.II del D.M. 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	$\gamma_{c'}$	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 D.M. 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.

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 è stato assunto pari a 2,3 (tabella 6.4.I del D.M. 14/01/2008).

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_{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:

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

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

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

VERIFICHE CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE ALLO SLU

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{p,cmp}	Z _{fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Trave 1-5	2,41	3,51	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,054	0,130	N
Trave 5-24	2,61	4,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,130	N
Trave 67-83	2,54	5,70	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,051	0,130	N
Trave 24-36	2,85	4,50	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	N
Trave 58-69	2,81	4,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	N
Trave 59-70	2,69	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,130	N
Trave 50-59	2,92	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	N
Trave 51-60	2,82	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	N
Trave 52-61	3,05	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,130	N
Trave 61-72	2,77	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	N
Trave 53-62	1,97	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	N
Trave 54-63	2,33	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,130	N
Trave 55-64	2,97	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	N
Trave 47-65	2,01	4,50	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,065	0,130	N
Trave 48-66	2,08	4,81	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	N
Trave 35-48	1,87	4,21	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,070	0,130	N
Trave	2,27	4,90	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,057	0,130	N

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{P.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
62-78																O
Trave																N
65-81	2,66	4,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,049	0,130	O
Trave																N
77-78	2,46	6,50	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,053	0,130	O
Trave																N
78-86	1,97	4,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	O
Trave																N
86-87	2,79	8,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	O
Trave																N
80-81	2,69	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,130	O
Trave																N
69-70	2,33	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,130	O
Trave																N
71-72	1,68	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,077	0,130	O
Trave																N
55-47	2,56	6,42	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,051	0,130	O
Trave																N
53-54	3,23	8,31	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,130	O
Trave																N
54-55	2,33	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,130	O
Trave																N
49-50	2,96	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	O
Trave																N
50-51	3,64	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,036	0,130	O
Trave																N
52-53	3,19	6,50	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,041	0,130	O
Trave																N
51-52	2,85	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	O
Trave																N
41-42	2,86	3,09	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,045	0,130	O
Trave																N
43-44	2,59	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,130	O
Trave																N
36-37	3,42	4,90	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,038	0,130	O
Trave																N
38-39	3,67	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,130	O
Trave																N
37-38	2,50	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,052	0,130	O
Trave																N
39-40	2,85	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	O
Trave																N
42-43	3,58	6,41	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,036	0,130	O
Trave																N
40-41	3,77	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,034	0,130	O
Trave																N
25-26	2,04	4,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,064	0,130	O
Trave																N
22-26	1,55	2,61	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,084	0,130	O
Trave																N
Trave 3-4	3,68	7,39	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,130	O
Trave 4-23	2,20	3,52	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,059	0,130	O
Trave 2-14	2,79	5,20	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	O
Trave 14-27	3,15	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,041	0,130	O
Trave 1-2	2,63	5,25	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,130	O
Trave 29-39	3,06	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,042	0,130	O
Trave 7-16	1,93	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,130	O
Trave 16-29	2,85	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	O
Trave 6-7	2,77	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	O
Trave 31-41	3,03	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,130	O

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{P.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Trave 9-18	1,97	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	NON
Trave 18-31	2,77	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	
Trave 8-9	2,87	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,045	0,130	NON
Trave 33-43	2,80	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	
Trave 11-20	2,14	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,130	NON
Trave 20-33	2,74	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	
Trave 10-11	2,94	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	NON
Trave 25-45	2,82	4,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	
Trave 13-25	2,50	3,90	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,052	0,130	NON
Trave 44-45	3,39	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,038	0,130	
Trave 12-13	2,82	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	NON
Trave 34-44	3,00	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,130	
Trave 12-21	1,98	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,066	0,130	NON
Trave 21-34	2,81	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,046	0,130	
Trave 30-40	3,00	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,130	NON
Trave 17-30	2,71	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,130	
Trave 8-17	2,13	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,061	0,130	NON
Trave 28-38	2,90	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,045	0,130	
Trave 15-28	2,23	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,058	0,130	NON
Trave 57-58	2,68	5,50	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,130	
Trave 49-58	2,50	2,95	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,052	0,130	NON
Trave 46-56	2,20	4,47	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,059	0,130	
Trave 16-17	2,30	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,130	NON
Trave 18-19	2,30	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,130	
Trave 20-21	2,30	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,057	0,130	NON
Trave 32-42	3,03	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,130	
Trave 10-19	2,08	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,063	0,130	NON
Trave 19-32	2,78	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	
Trave 38-49	3,28	4,16	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,130	NON
Trave 39-50	2,97	3,52	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	
Trave 40-51	3,27	4,16	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,130	NON
Trave 41-52	3,11	3,52	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,042	0,130	
Trave 42-53	2,64	4,22	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,049	0,130	NON
Trave 44-54	2,62	3,64	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,130	
Trave	2,79	3,94	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	NON

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{P.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
45-55																O
Trave 22-23	2,52	6,90	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,051	0,130	N
Trave 24-27	3,69	4,94	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,035	0,130	O
Trave 33-34	2,66	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,049	0,130	N
Trave 29-30	2,66	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,049	0,130	O
Trave 32-33	3,60	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,036	0,130	N
Trave 28-29	3,62	6,39	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,036	0,130	O
Trave 27-28	2,99	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	N
Trave 30-31	3,59	6,41	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,036	0,130	O
Trave 31-32	2,65	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,049	0,130	N
Trave 25-34	3,41	6,48	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,038	0,130	O
Trave 5-14	3,58	5,33	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,036	0,130	N
Trave 68-69	2,96	5,50	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	O
Trave 63-73	2,58	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,130	N
Trave 64-74	2,95	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,044	0,130	O
Trave 73-74	2,33	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,130	N
Trave 58-59	2,36	3,21	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,055	0,130	O
Trave 66-65	3,34	7,90	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,039	0,130	N
Trave 61-62	3,05	6,50	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,130	O
Trave 63-64	2,37	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,055	0,130	N
Trave 64-65	3,23	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,130	O
Trave 62-63	3,24	8,31	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,130	N
Trave 60-61	2,49	3,10	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,052	0,130	O
Trave 59-60	3,45	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,038	0,130	N
Trave 3-22	2,44	3,51	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,053	0,130	O
Trave 23-35	2,16	5,41	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,130	N
Trave 27-37	3,05	3,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,130	O
Trave 56-57	2,78	5,80	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	0,130	N
Trave 82-81	3,49	7,90	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,037	0,130	O
Trave 26-35	3,21	7,91	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,041	0,130	N
Trave 70-75	2,09	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,062	0,130	O
Trave 72-77	1,93	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,130	N
Trave 60-71	2,18	3,30	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,130	O
Trave 71-76	2,16	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,060	0,130	N
Trave 75-76	2,38	6,40	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,055	0,130	O

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{P.cmp}	Z _{Fld}	Cmp T	C. Terzaghi							Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ				
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Trave 74-80	1,93	1,60	1,70	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,130	NON	

LEGENDA:

Id_{Fnd}	Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
L_{x/y}	Dimensioni dell'elemento di fondazione.
R_{tz}	Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.
Z_{p.cmp}	Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
Z_{Fld}	Profondità della falda dal piano campagna.
Cmp T	Classificazione del comportamento del terreno ai fini del calcolo.
C.	Coefficienti correttivi per la formula di Terzaghi.
Terzaghi	
Q_{Ed}	Carico di progetto sul terreno.
Q_{Rd}	Resistenza di progetto del terreno.
R_f	[SI] = elemento con presenza di rinforzo; [NO] = elemento senza rinforzo.

Calcolo delle distorsioni angolari

Noti i cedimenti in un certo numero di punti significativi, è possibile calcolare le distorsioni angolari (β) come:

$$\beta_{ij} = \Delta w_{ij} / L_{ij};$$

dove:

Δw_{ij} : cedimento differenziale tra i punti i e j;
 L_{ij} : distanza tra la coppia di punti i e j.

Sia nel tabulato che nelle tabelle seguenti, per comodità di lettura, sono riportati i valori inversi delle distorsioni angolari, confrontati con il valore inverso della distorsione ammissibile compatibile con la funzionalità dell'intera opera.

GEOTECNICA - VERIFICHE DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali				
Idw	Id _{Δw}	(L/ΔW) _{i-f}	(L/ΔW) _{lim}	CS
001	C0086-C0081	37.085,73	200	NS
002	C0027-C0029	11.443,30	200	57,22
003	C0029-C0027	11.443,30	200	57,22
004	C0027-C0025	19.472,76	200	97,36
005	C0025-C0023	NS	200	NS
006	C0023-C0021	38.223,50	200	NS
007	C0021-C0017	28.013,59	200	NS
008	C0017-C0015	NS	200	NS
009	C0015-C0013	38.584,93	200	NS
010	C0013-C0055	NS	200	NS
011	C0146-C0141	7.709,20	200	38,55
012	C0141-C0009	15.961,69	200	79,81
013	C0030-C0028	9.470,97	200	47,35
014	C0028-C0026	34.804,28	200	NS
015	C0026-C0024	23.519,04	200	NS
016	C0024-C0022	35.360,63	200	NS
017	C0022-C0018	30.978,13	200	NS
018	C0018-C0016	20.695,93	200	NS
019	C0016-C0011	39.386,59	200	NS
020	C0011-C0009	24.014,95	200	NS
021	C0005-C0195	11.985,29	200	59,93
022	C0195-C0010	19.355,46	200	96,78
023	C0010-C0012	49.029,54	200	NS
024	C0034-C0271	40.405,10	200	NS
025	C0006-C0256	NS	200	NS
026	C0256-C0252	NS	200	NS
027	C0040-C0042	NS	200	NS
028	C0083-C0081	14.781,40	200	73,91
029	C0081-C0080	8.437,85	200	42,19
030	C0080-C0027	15.275,65	200	76,38
031	C0027-C0028	28.978,51	200	NS
032	C0028-C0036	9.744,60	200	48,72
033	C0084-C0086	27.469,44	200	NS
034	C0086-C0031	42.143,00	200	NS
035	C0031-C0029	24.837,74	200	NS
036	C0021-C0022	15.058,20	200	75,29
037	C0022-C0034	9.186,36	200	45,93
038	C0034-C0040	10.923,52	200	54,62
039	C0123-C0128	4.647,11	200	23,24
040	C0128-C0125	7.076,19	200	35,38
041	C0125-C0066	9.577,71	200	47,89
042	C0066-C0023	20.105,98	200	NS
043	C0023-C0024	16.186,60	200	80,93
044	C0024-C0198	10.328,99	200	51,64
045	C0198-C0271	5.197,32	200	25,99
046	C0271-C0042	7.211,29	200	36,06
047	C0145-C0146	NS	200	NS
048	C0146-C0005	NS	200	NS
049	C0005-C0006	37.427,82	200	NS
050	C0087-C0088	17.628,46	200	88,14
051	C0088-C0090	8.375,13	200	41,88
052	C0090-C0068	12.568,62	200	62,84
053	C0068-C0141	NS	200	NS
054	C0141-C0195	11.405,96	200	57,03
055	C0195-C0256	11.610,16	200	58,05
056	C0055-C0009	14.118,04	200	70,59
057	C0009-C0010	8.782,22	200	43,91
058	C0010-C0252	8.499,54	200	42,50
059	C0001-C0087	NS	200	NS
060	C0083-C0084	NS	200	NS
061	C0002-C0088	26.882,15	200	NS
062	C0088-C0139	20.924,50	200	NS

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali

Idw	Id _{Δw}	(L/ΔW) _{i-f}	(L/ΔW) _{lim}	CS
063	C0099-C0095	NS	200	NS
064	C0107-C0103	NS	200	NS
065	C0115-C0111	NS	200	NS
066	C0123-C0119	NS	200	NS
067	C0096-C0133	NS	200	NS
068	C0104-C0150	NS	200	NS
069	C0112-C0128	NS	200	NS
070	C0004-C0090	9.140,77	200	45,70
071	C0090-C0137	12.992,49	200	64,96
072	C0137-C0093	NS	200	NS
073	C0093-C0131	24.165,45	200	NS
074	C0131-C0101	41.332,22	200	NS
075	C0101-C0153	NS	200	NS
076	C0153-C0109	NS	200	NS
077	C0109-C0125	NS	200	NS
078	C0125-C0079	23.864,52	200	NS
079	C0079-C0080	24.775,93	200	NS
080	C0080-C0031	21.538,38	200	NS
081	C0008-C0068	8.002,71	200	40,01
082	C0068-C0069	11.439,38	200	57,20
083	C0069-C0070	NS	200	NS
084	C0070-C0074	NS	200	NS
085	C0074-C0063	43.327,49	200	NS
086	C0063-C0064	NS	200	NS
087	C0064-C0065	35.396,30	200	NS
088	C0065-C0066	18.106,43	200	90,53
089	C0066-C0118	34.430,51	200	NS
090	C0047-C0020	NS	200	NS
091	C0198-C0200	26.848,38	200	NS
092	C0232-C0238	NS	200	NS
093	C0037-C0034	45.746,10	200	NS
094	C0227-C0036	12.728,33	200	63,64
095	C0036-C0043	35.597,24	200	NS
096	C0270-C0268	NS	200	NS
097	C0001-C0002	23.519,40	200	NS
098	C0002-C0004	NS	200	NS
099	C0004-C0008	20.393,73	200	NS
100	C0008-C0145	14.155,20	200	70,78
101	C0099-C0139	5.160,25	200	25,80
102	C0139-C0137	7.730,70	200	38,65
103	C0137-C0069	10.534,23	200	52,67
104	C0095-C0096	4.712,71	200	23,56
105	C0096-C0093	6.973,20	200	34,87
106	C0093-C0070	10.124,54	200	50,62
107	C0070-C0013	18.210,68	200	91,05
108	C0013-C0011	14.910,37	200	74,55
109	C0011-C0012	8.944,18	200	44,72
110	C0012-C0232	4.209,54	200	21,05
111	C0107-C0133	4.618,24	200	23,09
112	C0133-C0131	6.866,00	200	34,33
113	C0131-C0074	9.572,12	200	47,86
114	C0103-C0104	6.604,89	200	33,02
115	C0104-C0101	7.129,87	200	35,65
116	C0101-C0063	9.100,30	200	45,50
117	C0063-C0017	20.606,10	200	NS
118	C0017-C0018	10.769,62	200	53,85
119	C0018-C0020	9.475,31	200	47,38
120	C0020-C0037	4.135,69	200	20,68
121	C0115-C0150	6.528,40	200	32,64
122	C0150-C0153	7.194,05	200	35,97
123	C0153-C0064	8.855,17	200	44,28
124	C0111-C0112	4.635,48	200	23,18
125	C0112-C0109	6.867,23	200	34,34
126	C0109-C0065	11.392,25	200	56,96
127	C0119-C0079	6.586,20	200	32,93
128	C0079-C0118	9.143,22	200	45,72
129	C0069-C0055	15.281,03	200	76,41
130	C0118-C0025	23.935,53	200	NS
131	C0029-C0030	NS	200	NS
132	C0030-C0227	22.883,49	200	NS
133	C0227-C0268	24.995,64	200	NS
134	C0015-C0016	15.458,80	200	77,29

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali

Idw	Id _{Δw}	(L/ΔW) _{i-f}	(L/ΔW) _{lim}	CS
135	C0016-C0047	7.718,69	200	38,59
136	C0047-C0238	5.621,02	200	28,11
137	C0025-C0026	47.757,01	200	NS
138	C0026-C0200	10.587,44	200	52,94
139	C0200-C0043	3.831,10	200	19,16
140	C0083-C0081	14.781,40	200	73,91
141	C0081-C0080	8.437,85	200	42,19
142	C0080-C0027	15.275,65	200	76,38
143	C0027-C0028	28.978,51	200	NS
144	C0028-C0036	9.744,60	200	48,72
145	C0036-C0270	6.378,89	200	31,89
146	C0074-C0015	NS	200	NS
147	C0064-C0021	NS	200	NS

LEGENDA:

Idw	Identificativo del Punto Significativo (punto in cui viene calcolato il cedimento).
Id_{Δw}	Identificativo del cedimento differenziale.
(L/ΔW)_{i-f}	Distorsione angolare ([NS] = Non Significativo - per valori di (L/ΔW) _{i-f} maggiori o uguali di 50.000).
(L/ΔW)_{lim}	Distorsione angolare limite.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).

- VERIFICA A SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA

La verifica a scorrimento sul piano di posa della fondazione, eseguita allo SLU (SLV), consiste nel confronto fra la forza agente parallelamente al piano di scorrimento (azione, F_d) e la resistenza (R_d), ossia la risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano, sommata, in casi particolari, alla risultante delle tensioni limite agenti sulle superfici laterali della fondazione.

La resistenza R_d della fondazione allo scorrimento è data dalla somma di tre componenti:

- 1) Componente dovuta all'attrito F_{RD1} , pari a:

$$F_{RD1} = N_d \cdot \tan \phi;$$

dove:

N_d = carico efficace di progetto, normale alla base della fondazione;

ϕ = angolo di resistenza a taglio (d'attrito) del terreno a contatto con la fondazione.

- 2) Componente dovuta all'adesione F_{RD2} , pari a:

$$F_{RD2} = A' \cdot c;$$

dove:

A' = superficie efficace della base della fondazione;

c = coesione del terreno, pari alla coesione efficace (c') in condizioni drenate o alla coesione non drenata (c_u) in condizioni non drenate.

- 3) Componente dovuta all'affondamento F_{RD3} della fondazione. Tale eventuale contributo resistente è dovuto alla spinta passiva che si genera sul lato verticale della fondazione quando le forze orizzontali la spingono contro lo scavo (incasso).

Si evidenzia che nel caso in cui lo sforzo normale sia di trazione i primi due contributi vengono annullati.

Inoltre, nel caso in cui il terreno sia dotato di coesione non drenata e attrito, il programma esegue la verifica a scorrimento ignorando il contributo dovuto all'attrito terra-fondazione e calcola l'aliquota dovuta all'adesione con riferimento alla coesione non drenata.

Si precisa che il valore relativo alla colonna F_{Rd} , di cui nella tabella seguente, è da intendersi come il valore di progetto della resistenza allo scorrimento R_d , ossia il rapporto fra la resistenza ed il valore del coefficiente parziale di sicurezza γ_R relativo allo scorrimento della struttura di fondazione su piano di posa, in relazione all'approccio utilizzato. Nel caso in esame il coefficiente parziale di sicurezza γ_R è stato assunto pari a **1,10** (tabella 6.4.I del D.M. 14/01/2008).

Sia nei "Tabulati di calcolo" che nella tabella seguente si riporta l'esito della suddetta verifica.

GEOTECNICA - VERIFICHE A SCORRIMENTO

Geotecnica - Verifiche a scorrimento

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
-----	-----	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	-----------------	----

		[N]	[N-m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	...
Trave 1-5	B	205.351	-34.378	16.559	0	442289	2116395	2558684	NS
	L	231.807	-60.087	-21.810	0	432094	892720	1324814	60,74
Trave 5-24	B	246.364	-20.490	20.031	0	582955	2628466	3211421	NS
	L	272.179	-71.299	-27.058	0	565679	890360	1456038	53,81
Trave 67-83	B	324.645	-11.500	28.250	0	1004866	3401078	4405944	NS
	L	371.062	27.765	35.525	0	972799	893906	1866705	52,55
Trave 24-36	B	254.132	-41.908	19.777	0	721551	2683211	3404762	NS
	L	274.322	-27.616	-27.587	0	708832	891280	1600112	58,00
Trave 58-69	B	227.685	-29.512	19.972	0	748246	2534341	3282587	NS
	L	245.241	14.970	22.919	0	716285	882614	1598899	69,76
Trave 59-70	B	194.846	-16.740	15.468	0	475617	1961238	2436855	NS
	L	192.086	-40.427	-16.635	0	461008	888158	1349167	81,10
Trave 50-59	B	188.502	-16.288	16.904	0	668888	2228529	2897417	NS
	L	196.234	14.693	19.323	0	634914	876842	1511756	78,24
Trave 51-60	B	199.775	-23.614	16.921	0	617934	2236514	2854448	NS
	L	198.448	-21.420	-17.199	0	606632	879984	1486615	86,44
Trave 52-61	B	201.287	-19.914	16.920	0	622601	2236514	2859115	NS
	L	198.709	-20.864	-16.244	0	615278	879984	1495262	92,05
Trave 61-72	B	190.645	-14.229	15.477	0	428257	1954446	2382703	NS
	L	184.313	-49.854	-14.111	0	421148	885082	1306230	92,57
Trave 53-62	B	204.512	-24.036	16.922	0	612601	2236514	2849115	NS
	L	200.635	-20.675	-15.817	0	598316	879984	1478300	93,46
Trave 54-63	B	208.570	-24.344	16.935	0	607616	2238123	2845739	NS
	L	202.956	-22.687	-18.293	0	591830	879932	1471762	80,45
Trave 55-64	B	210.086	-20.316	16.937	0	612176	2238101	2850277	NS
	L	203.821	-23.468	-19.212	0	595565	879932	1475497	76,80
Trave 47-65	B	210.634	-20.365	20.395	0	449565	2613604	3063169	NS
	L	203.131	-85.070	-25.620	0	415927	870714	1286641	50,22
Trave 48-66	B	289.102	42.321	-21.195	0	730530	2905180	3635710	NS
	L	301.418	45.787	30.200	0	714800	891814	1606614	53,20
Trave 35-48	B	289.868	-56.844	18.808	0	569871	2602794	3172664	NS
	L	267.601	67.262	26.851	0	538792	893020	1431811	53,32
Trave 62-78	B	284.041	-22.506	23.188	0	714216	2908198	3622413	NS
	L	272.112	-52.550	-20.388	0	695084	888034	1583117	77,65
Trave 65-81	B	280.114	-29.229	21.712	0	784295	2727355	3511650	NS
	L	264.164	-18.376	-25.500	0	764618	887615	1652233	64,79
Trave 77-78	B	394.196	31.502	-26.382	0	1009837	3850417	4860254	NS
	L	361.002	58.431	31.662	0	978077	886878	1864955	58,90
Trave 78-86	B	256.694	-28.476	20.509	0	656812	2441216	3098027	NS
	L	283.059	35.327	17.301	0	636063	890703	1526765	88,25
Trave 86-87	B	566.545	36.379	-37.510	0	1484692	4944859	6429551	NS
	L	510.944	23.138	42.545	0	1468445	892797	2361242	55,50
Trave 80-81	B	363.096	-27.002	33.855	0	1011377	3804330	4815707	NS
	L	388.781	54.556	31.205	0	989395	889714	1879109	60,22
Trave 69-70	B	157.335	-1.670	-16.384	0	453408	1828984	2282391	NS
	L	143.447	33.930	15.038	0	403820	870945	1274765	84,77
Trave 71-72	B	154.358	-14.799	-14.175	0	511333	1847916	2359249	NS
	L	142.354	17.581	15.275	0	458714	866211	1324925	86,74
Trave 55-47	B	349.446	-129.033	35.963	0	1021965	3986419	5008385	NS
	L	357.802	40.672	29.330	0	992983	880502	1873485	63,88
Trave 53-54	B	498.607	-48.771	37.090	0	1229365	4941119	6170485	NS
	L	505.203	94.323	35.927	0	1194312	890999	2085311	58,04
Trave 54-55	B	182.601	-13.810	15.313	0	538791	1835526	2374318	NS
	L	186.055	9.614	13.440	0	531679	884487	1416166	NS
Trave 49-50	B	162.213	-13.912	16.002	0	514653	1821784	2336437	NS
	L	166.025	-15.343	-13.261	0	511765	878022	1389786	NS
Trave 50-51	B	331.532	-3.737	-30.897	0	1050963	3772189	4823152	NS
	L	325.299	45.975	27.711	0	976094	882410	1858504	67,07
Trave 52-53	B	341.406	-7.567	-26.367	0	1059980	3831083	4891063	NS
	L	338.492	48.345	28.138	0	987124	882425	1869549	66,44
Trave 51-52	B	177.559	4.796	-13.795	0	501366	1834535	2335901	NS
	L	175.218	24.710	13.438	0	475915	884167	1360082	NS
Trave 41-42	B	188.967	-25.016	12.586	0	441146	1841910	2283056	NS
	L	184.640	-33.540	-13.203	0	433789	889379	1323168	NS
Trave 43-44	B	193.727	-28.166	14.224	0	466926	1843963	2310890	NS
	L	192.913	24.755	13.397	0	460089	888711	1348800	NS
Trave 36-37	B	243.228	18.247	-29.239	0	857199	2890539	3747738	NS
	L	258.044	-24.022	-20.882	0	810562	882647	1693209	81,08
Trave 38-39	B	304.666	14.293	-33.600	0	1049063	3761452	4810516	NS
	L	317.505	-50.473	-27.266	0	974317	879898	1854214	68,00
Trave 37-38	B	177.767	-25.778	17.335	0	400587	1837305	2237892	NS
	L	177.091	-43.171	-13.231	0	398353	885499	1283851	97,03

...

Geotecnica - Verifiche a scorrimento

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N-m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Trave 39-40	B	188.542	-26.619	14.984	0	449199	1845081	2294281	NS
	L	186.035	-30.783	-13.223	0	446074	889250	1335323	NS
Trave 42-43	B	340.099	2.940	-27.438	0	783268	3787372	4570640	NS
	L	343.238	-112.237	-27.289	0	731490	885161	1616651	59,24
Trave 40-41	B	309.644	10.838	-28.692	0	1047131	3762036	4809167	NS
	L	316.545	-51.645	-27.275	0	967005	880034	1847039	67,72
Trave 25-26	B	226.906	24.919	-24.060	0	771541	2625073	3396615	NS
	L	254.027	20.913	19.900	0	739708	883859	1623567	81,59
Trave 22-26	B	143.054	-26.533	12.130	0	317319	1570887	1888206	NS
	L	125.450	38.420	14.983	0	293300	876153	1169453	78,05
Trave 3-4	B	378.626	16.248	-43.387	0	1362389	4408390	5770779	NS
	L	457.572	20.348	34.575	0	1301669	892503	2194172	63,46
Trave 4-23	B	193.935	39.201	-16.364	0	552335	2126472	2678807	NS
	L	229.888	-27.248	-21.973	0	532936	887425	1420361	64,64
Trave 2-14	B	262.539	-20.536	24.182	0	845750	3075594	3921344	NS
	L	234.356	41.785	30.033	0	764815	884592	1649407	54,92
Trave 14-27	B	167.181	-21.428	14.893	0	541906	1945347	2487254	NS
	L	156.931	22.003	19.111	0	493972	880174	1374147	71,90
Trave 1-2	B	240.093	18.233	-31.422	0	953345	3118352	4071697	NS
	L	276.655	15.648	24.840	0	908096	888879	1796975	72,34
Trave 29-39	B	195.043	-22.397	16.671	0	611394	2237318	2848713	NS
	L	203.968	-22.701	-18.887	0	603000	879958	1482958	78,52
Trave 7-16	B	91.098	-8.264	7.387	0	233194	944746	1177940	NS
	L	98.337	-14.380	-8.002	0	239129	876708	1115837	NS
Trave 16-29	B	182.376	-26.988	14.896	0	499164	1955249	2454413	NS
	L	169.535	29.067	16.570	0	464876	885050	1349926	81,47
Trave 6-7	B	316.241	14.552	-33.678	0	1178461	3808289	4986750	NS
	L	351.544	18.512	29.484	0	1110982	890777	2001759	67,89
Trave 31-41	B	199.648	-23.162	16.675	0	614077	2238122	2852199	NS
	L	204.816	-21.028	-15.986	0	609493	879932	1489424	93,17
Trave 9-18	B	93.276	-8.345	7.382	0	234858	944132	1178990	NS
	L	98.746	-13.543	-6.764	0	242056	876753	1118808	NS
Trave 18-31	B	186.671	-27.958	14.902	0	495567	1956053	2451620	NS
	L	171.988	27.853	14.041	0	470719	885018	1355737	96,56
Trave 8-9	B	323.354	11.695	-28.776	0	1170486	3809389	4979875	NS
	L	362.526	21.547	29.489	0	1103477	891073	1994550	67,64
Trave 33-43	B	195.614	-21.919	16.682	0	656864	2229952	2886816	NS
	L	185.437	15.211	17.071	0	619475	876720	1496195	87,65
Trave 11-20	B	95.434	-8.433	7.387	0	236423	944746	1181170	NS
	L	99.870	-13.991	-7.197	0	238235	876708	1114943	NS
Trave 20-33	B	190.996	-28.381	14.902	0	493335	1956053	2449388	NS
	L	174.298	28.659	14.829	0	464750	885018	1349768	91,02
Trave 10-11	B	321.240	9.704	-27.253	0	1146382	3804376	4950758	NS
	L	341.166	-25.486	-29.164	0	1089958	889903	1979861	67,89
Trave 25-45	B	281.701	-26.430	21.099	0	640274	2848906	3489179	NS
	L	283.927	-75.202	-25.003	0	604883	887459	1492342	59,69
Trave 13-25	B	230.792	-17.104	17.760	0	703617	2312985	3016602	NS
	L	202.558	12.522	20.476	0	673641	885882	1559523	76,16
Trave 44-45	B	327.213	-29.423	31.650	0	1011689	3759384	4771073	NS
	L	327.229	48.511	27.618	0	978687	879415	1858102	67,28
Trave 12-13	B	322.691	12.541	-31.971	0	1143221	3804537	4947758	NS
	L	339.147	-25.484	-29.165	0	1087851	889899	1977751	67,81
Trave 34-44	B	210.593	1.591	16.653	0	684606	2238719	2923325	NS
	L	213.251	-15.197	-17.908	0	637288	881466	1518754	84,81
Trave 12-21	B	89.624	7.272	-7.281	0	245274	942270	1187543	NS
	L	101.494	-13.861	-7.570	0	246440	877464	1123903	NS
Trave 21-34	B	174.615	23.361	-14.699	0	461441	1949051	2410491	NS
	L	168.682	34.944	15.690	0	442684	883349	1326032	84,51
Trave 30-40	B	197.039	2.500	16.657	0	645416	2235794	2881210	NS
	L	204.708	-22.484	-17.884	0	596119	880007	1476126	82,54
Trave 17-30	B	181.371	25.706	-14.703	0	478630	1953724	2432354	NS
	L	170.392	28.906	15.687	0	470464	885111	1355575	86,41
Trave 8-17	B	91.872	-2.464	7.360	0	253246	941507	1194753	NS
	L	98.529	-14.155	-7.567	0	242143	876753	1118896	NS
Trave 28-38	B	192.439	1.616	16.650	0	643534	2235073	2878606	NS
	L	203.880	-24.166	-20.783	0	589847	880031	1469877	70,72
Trave 15-28	B	182.452	25.248	-14.697	0	477490	1953004	2430494	NS
	L	167.944	30.126	18.214	0	464451	885140	1349591	74,10
Trave 57-58	B	301.884	69.336	-31.063	0	838844	3305129	4143972	NS
	L	285.737	42.432	25.162	0	814279	883987	1698266	67,49

...

Geotecnica - Verifiche a scorrimento

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N-m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Trave 49-58	B	148.306	-18.171	13.034	0	410877	1730719	2141596	NS
	L	154.200	34.665	15.748	0	384900	877140	1262040	80,14
Trave 46-56	B	255.611	-63.838	20.444	0	632148	2785906	3418053	NS
	L	267.005	57.427	29.255	0	597383	888974	1486357	50,81
Trave 16-17	B	155.069	-17.561	15.007	0	537666	1806153	2343819	NS
	L	144.700	9.982	14.140	0	510133	870488	1380621	97,64
Trave 18-19	B	155.697	-16.062	12.645	0	541453	1806153	2347605	NS
	L	148.128	10.005	14.140	0	512713	870488	1383201	97,82
Trave 20-21	B	157.658	-17.212	14.242	0	528929	1806061	2334990	NS
	L	151.472	10.503	14.140	0	513087	870491	1383578	97,85
Trave 32-42	B	201.650	2.962	16.659	0	649548	2235794	2885342	NS
	L	205.794	-20.560	-15.258	0	601507	880007	1481514	97,10
Trave 10-19	B	95.121	-2.074	7.353	0	258263	941617	1199879	NS
	L	100.082	-12.938	-6.440	0	240930	877512	1118442	NS
Trave 19-32	B	180.359	25.068	-14.697	0	482290	1953004	2435295	NS
	L	172.807	27.591	13.395	0	482410	885140	1367550	NS
Trave 38-49	B	236.833	31.825	-43.140	0	410153	2467518	2877672	66,71
	L	233.974	-110.987	-48.386	0	338301	885794	1224094	25,30
Trave 39-50	B	176.163	-18.483	25.674	0	587575	2059473	2647049	NS
	L	179.491	-29.175	-29.039	0	527476	877891	1405367	48,40
Trave 40-51	B	209.430	40.294	-41.456	0	573921	2442413	3016334	72,76
	L	209.342	-52.500	-42.209	0	548165	876781	1424947	33,76
Trave 41-52	B	180.813	-15.602	25.051	0	587259	2059893	2647152	NS
	L	182.250	-26.407	-25.562	0	544483	878018	1422501	55,65
Trave 42-53	B	210.714	40.861	-41.283	0	572374	2479273	3051647	73,92
	L	213.363	-52.458	-39.358	0	558449	876697	1435147	36,46
Trave 44-54	B	194.700	-25.113	31.605	0	591615	2133323	2724938	86,22
	L	191.093	-30.864	-32.773	0	538919	878251	1417169	43,24
Trave 45-55	B	220.751	-22.172	39.384	0	675243	2324897	3000140	76,18
	L	219.181	-31.344	-45.441	0	598506	881203	1479709	32,56
Trave 22-23	B	421.326	-46.082	40.219	0	1237465	4098645	5336110	NS
	L	411.203	19.501	31.397	0	1201115	890295	2091410	66,61
Trave 24-27	B	260.756	-48.277	38.929	0	797698	2925105	3722803	95,63
	L	257.990	-29.931	-28.547	0	775001	881447	1656448	58,03
Trave 33-34	B	171.914	-17.391	14.240	0	532672	1822492	2355164	NS
	L	167.911	9.835	13.805	0	521674	878363	1400037	NS
Trave 29-30	B	169.546	-18.525	15.017	0	537109	1822492	2359601	NS
	L	161.013	8.746	13.803	0	519992	878363	1398354	NS
Trave 32-33	B	326.359	1.113	-27.316	0	1170196	3789967	4960163	NS
	L	349.741	18.148	28.431	0	1104690	886568	1991259	70,04
Trave 28-29	B	317.492	5.641	-33.641	0	1182645	3786823	4969468	NS
	L	333.727	17.331	28.416	0	1100624	886635	1987258	69,93
Trave 27-28	B	168.476	-19.356	17.384	0	536924	1822152	2359076	NS
	L	156.864	9.223	13.799	0	516803	878195	1394999	NS
Trave 30-31	B	322.032	2.265	-28.797	0	1188898	3793110	4982008	NS
	L	341.651	17.369	28.453	0	1105695	886502	1992197	70,02
Trave 31-32	B	170.089	-17.006	12.641	0	544526	1822492	2367017	NS
	L	164.651	9.816	13.803	0	518028	878363	1396391	NS
Trave 25-34	B	333.338	-17.465	53.769	0	1159329	3835661	4994990	92,90
	L	362.395	-32.555	-47.635	0	1068772	886605	1955376	41,05
Trave 5-14	B	242.320	51.361	-67.258	0	794353	3136487	3930840	58,44
	L	277.682	-58.672	-47.217	0	732206	882485	1614692	34,20
Trave 68-69	B	282.340	-40.247	30.445	0	960457	3270373	4230831	NS
	L	285.639	16.591	26.464	0	940701	884807	1825508	68,98
Trave 63-73	B	190.907	-28.474	15.494	0	426965	1952342	2379307	NS
	L	182.218	-43.692	-15.891	0	412889	883037	1295926	81,55
Trave 64-74	B	193.235	-13.639	15.492	0	447821	1952344	2400164	NS
	L	183.890	-44.524	-16.708	0	432070	883037	1315107	78,71
Trave 73-74	B	140.234	-9.782	15.234	0	493949	1793711	2287660	NS
	L	148.284	18.548	14.768	0	486093	867926	1354019	91,69
Trave 58-59	B	171.658	16.712	-28.036	0	539286	1885104	2424390	86,47
	L	163.624	22.578	26.594	0	502478	876300	1378778	51,85
Trave 66-65	B	475.280	-52.773	46.701	0	1363335	4710322	6073657	NS
	L	479.189	-53.443	-36.288	0	1285788	888127	2173915	59,91
Trave 61-62	B	382.820	-2.333	-26.332	0	1143185	3855704	4998888	NS
	L	366.193	30.994	29.696	0	1075904	888096	1963999	66,14
Trave 63-64	B	158.212	-18.312	15.301	0	484351	1817024	2301375	NS
	L	164.457	19.285	14.192	0	476908	875572	1352480	95,30
Trave 64-65	B	378.345	39.520	-34.336	0	1118156	3819477	4937633	NS
	L	376.303	38.791	29.429	0	1053302	887459	1940760	65,95

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N-m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Trave 62-63	B	478.642	-47.324	37.189	0	1428338	4938458	6366796	NS
	L	494.828	37.158	37.925	0	1395494	890519	2286014	60,28
Trave 60-61	B	165.733	-50	-13.790	0	531959	1816725	2348684	NS
	L	157.673	17.849	14.189	0	484216	875583	1359799	95,83
Trave 59-60	B	371.286	2.089	-30.858	0	1124782	3795734	4920516	NS
	L	351.341	30.393	29.234	0	1059598	887917	1947515	66,62
Trave 3-22	B	219.183	-44.812	16.544	0	555179	2125094	2680274	NS
	L	227.283	-23.971	-19.885	0	535196	887376	1422573	71,54
Trave 23-35	B	335.806	22.471	24.479	0	961415	3256461	4217877	NS
	L	295.223	26.240	33.714	0	876701	890325	1767027	52,41
Trave 27-37	B	193.830	-18.155	17.327	0	630821	2236435	2867257	NS
	L	206.760	-20.851	-22.554	0	618016	881116	1499133	66,47
Trave 56-57	B	308.885	74.755	-35.538	0	921605	3492666	4414272	NS
	L	316.520	-47.277	-26.296	0	864853	882291	1747144	66,44
Trave 82-81	B	448.068	42.040	-47.614	0	1273568	4696485	5970053	NS
	L	482.809	-60.706	-39.942	0	1246069	888411	2134480	53,44
Trave 26-35	B	416.222	129.078	-127.496	0	1275994	4728718	6004712	47,10
	L	452.367	77.193	104.538	0	1158964	887098	2046061	19,57
Trave 70-75	B	85.530	-9.502	7.757	0	249354	937711	1187065	NS
	L	94.142	8.741	8.176	0	244242	872393	1116635	NS
Trave 72-77	B	86.263	-8.821	7.756	0	249675	936397	1186072	NS
	L	93.866	9.480	6.938	0	244363	871170	1115533	NS
Trave 60-71	B	188.371	-25.315	15.476	0	413611	1954446	2368057	NS
	L	183.267	-50.150	-14.945	0	403987	885082	1289069	86,25
Trave 71-76	B	86.147	-9.874	7.757	0	245732	936757	1182489	NS
	L	94.089	9.411	7.346	0	241227	871505	1112732	NS
Trave 75-76	B	403.419	28.813	-30.830	0	1156054	3807500	4963555	NS
	L	365.300	16.627	31.197	0	1128424	890670	2019094	64,72
Trave 74-80	B	97.790	-12.932	7.769	0	236546	942759	1179305	NS
	L	102.507	12.871	8.186	0	238339	875600	1113939	NS
Trave 14-15	B	134.245	5.881	-17.555	0	500740	1814329	2315069	NS
	L	145.782	22.721	14.147	0	455863	874425	1330288	94,03
Trave 6-15	B	89.962	-2.444	7.360	0	252232	941698	1193930	NS
	L	98.409	-14.802	-8.790	0	239575	876931	1116506	NS
Trave 36-46	B	122.881	20.947	-8.737	0	247789	1200522	1448311	NS
	L	115.835	27.768	12.747	0	244830	877577	1122407	88,05
Trave 67-68	B	291.508	-43.569	34.727	0	938940	3444955	4383895	NS
	L	323.585	-36.555	-27.592	0	923000	883332	1806332	65,46
Trave 69-85	B	319.325	-29.773	28.310	0	919390	3385350	4304740	NS
	L	308.595	-44.361	-30.074	0	882525	889813	1772338	58,93
Trave 56-67	B	269.634	-11.759	19.946	0	664888	2579608	3244497	NS
	L	294.108	50.263	26.811	0	640346	898379	1538725	57,39
Trave 83-84	B	315.924	-38.866	34.587	0	885257	3464515	4349772	NS
	L	371.140	-56.946	-29.613	0	875584	891426	1767010	59,67
Trave 84-85	B	367.745	-2.652	-30.663	0	906745	3288291	4195037	NS
	L	316.840	43.419	28.428	0	849040	891978	1741018	61,24
Trave 37-57	B	316.695	-18.750	26.635	0	1110028	3660542	4770570	NS
	L	325.831	21.978	35.707	0	1061034	885596	1946630	54,52
Trave 57-68	B	239.388	-14.073	19.911	0	758099	2544174	3302273	NS
	L	241.081	-21.294	-24.545	0	716526	887476	1604002	65,35
Trave 68-84	B	296.302	-20.671	29.705	0	1070093	3528878	4598971	NS
	L	336.213	22.643	34.553	0	1023470	882366	1905836	55,16
Trave 66-82	B	318.391	13.760	-22.833	0	777310	2939074	3716384	NS
	L	339.693	46.929	30.378	0	764849	896920	1661769	54,70
Trave 82-89	B	278.037	49.058	-22.149	0	633667	2661669	3295335	NS
	L	302.743	53.278	27.740	0	621412	889906	1511318	54,48
Trave 81-88	B	263.726	-38.403	22.598	0	605390	2660841	3266231	NS
	L	242.641	-56.245	-24.958	0	581252	884430	1465682	58,73
Trave 79-87	B	269.375	-20.121	20.507	0	618041	2448525	3066565	NS
	L	290.889	56.137	19.883	0	593613	892802	1486415	74,76
Trave 88-89	B	541.083	45.156	-45.012	0	1358260	4569561	5927821	NS
	L	494.125	-24.732	-38.900	0	1327690	894948	2222638	57,14
Trave 73-79	B	124.216	-21.632	7.774	0	217166	958951	1176117	NS
	L	117.110	-11.332	-7.729	0	216531	891139	1107670	NS
Trave 26-47	B	487.533	-18.981	33.730	0	1270985	4479513	5750498	NS
	L	485.536	-52.028	-43.265	0	1223823	895548	2119371	48,99
Trave 48-47	B	436.430	178.939	-74.708	0	1260761	4731373	5992133	80,21
	L	459.085	-63.727	-59.970	0	1148586	885221	2033807	33,91

LEGENDA:

Elm Elemento di fondazione su cui si esegue la verifica.

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N·m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Dir	Direzione di verifica: per Plinti [B]= asse locale 2; [L]= asse locale 3. Per Winkler [B]= asse locale 3; [L]= asse locale 1. Per Platee [B]= asse globale Y; [L]= asse globale X.								
F_{RD1}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per attrito terra-fondazione.								
F_{RD2}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per adesione.								
F_{RD3}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per affondamento.								
F_{RD}	Resistenza allo scorrimento.								
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).								
N_{Ed}, M_{Ed}, V_{Ed}	Sollecitazioni di progetto.								

DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA - LOCALE RISERVA IDRICA

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 e/o di laboratorio.

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}	γ_T	K			ϕ	c _u	c'	E _d	E _{cu}	A _{S-B}
		K _x	K _y	K _z						
	[N/m ³]	[N/cm ²]	[N/cm ²]	[N/cm ²]	[°]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
limo argilloso con elementi ghiaiosi										
T001	19.000	80	80	300	24	0,110	0,004	150	88	0,750

LEGENDA:

N _{TRN}	Numero identificativo del terreno.
γ_T	Peso specifico del terreno.
K	Valori della costante di sottofondo del terreno nelle direzioni degli assi del riferimento globale X (K _x), Y (K _y), e Z (K _z).
ϕ	Angolo di attrito del terreno.
c _u	Coesione non drenata.
c'	Coesione efficace.
E _d	Modulo edometrico.
E _{cu}	Modulo elastico in condizione non drenate.
A _{S-B}	Parametro "A" di Skempton-Bjerrum per pressioni interstiziali.

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 nei successivi paragrafi.

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 rigidezze 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.

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	Dir	TS	EcA	I _r Temp	C.S.T.	RP	RH	ξ
[°]											
0	48	B	ca	X	[P NC]	S	S	C	SI	SI	5

Dati generali analisi sismica

Ang	NV	CD	MP	Dir	TS	EcA	Ir _{Temp}	C.S.T.	RP	RH	ξ
[°]				Y	[P NC]						

LEGENDA:

- 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 struttura sismo-resistente prevalente: [ca] = calcestruzzo armato - [caOld] = calcestruzzo armato esistente - [muOld] = muratura esistente - [muNew] = muratura nuova - [muArm] = muratura armata - [ac] = acciaio.
- Dir** Direzione del sisma.
- TS** Tipologia della struttura:
Cemento armato: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [P] = Pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti - [2P NC] = Due pareti per direzione non accoppiate - [P NC] = Pareti non accoppiate - [DT] = Deformabili torsionalmente - [PI] = Pendolo inverso - [PM] = Pendolo inverso intelaiate monopiano;
Muratura: [P] = un solo piano - [PP] = più di un piano;
Acciaio: [T 1C] = Telai ad una sola campata - [T+C] = Telai a più campate - [CT] = controventi concentrici diagonale tesa - [CV] = controventi concentrici a V - [M] = mensola o pendolo inverso - [TT] = telaio con tamponature.
- EcA** Eccentricità accidentale: [S] = considerata come condizione di carico statica aggiuntiva - [N] = Considerata come incremento delle sollecitazioni.
- Ir_{Temp}** Per piani con distribuzione dei tamponamenti in pianta fortemente irregolare, l'eccentricità accidentale è stata incrementata di un fattore pari a 2: [SI] = Distribuzione tamponamenti irregolare fortemente - [NO] = Distribuzione tamponamenti regolare.
- C.S.T.** Categoria di sottosuolo: [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 - [S1] = Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche - [S2] = Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.
- RP** Regolarità in pianta: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- RH** Regolarità in altezza: [SI] = Struttura regolare - [NO] = Struttura non regolare.
- ξ Coefficiente viscoso equivalente.
- NOTE** [-] = Parametro non significativo per il tipo di calcolo effettuato.

DATI GENERALI ANALISI SISMICA - FATTORI DI STRUTTURA

Dir. X				Dir. Y				Fattori di struttura	
q	q ₀	α_u/α_1	K _w	q	q ₀	α_u/α_1	K _w	Dir. Z	
								q	
3,000	3,00	1,00	1,00	3,000	3,00	1,00	1,00	1,500	

LEGENDA:

- q** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU (Fattore di struttura).
- q₀** Valore di base.
- α_u/α_1** Rapporto di sovraresistenza.
- K_w** Fattore di riduzione di q₀.

Stato Limite	T _r	a _g /g	Amplif. Stratigrafica		F ₀	T _c *	T _B	T _C	T _D
	[t]		S _s	C _c		[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	68	0,0512	1,500	1,489	2,578	0,347	0,172	0,517	1,805
SLD	114	0,0603	1,500	1,438	2,632	0,385	0,185	0,554	1,841
SLV	1073	0,1257	1,497	1,328	2,686	0,491	0,217	0,652	2,103
SLC	2203	0,1512	1,449	1,296	2,769	0,528	0,228	0,685	2,205

LEGENDA:

- T_r** Periodo di ritorno dell'azione sismica. [t] = anni.
- a_g/g** Coefficiente di accelerazione al suolo.
- S_s** Coefficienti di Amplificazione Stratigrafica allo SLO/SLD/SLV/SLC.
- C_c** Coefficienti di Amplificazione di T_c 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.
- T_B** Periodo di inizio del tratto accelerazione costante dello spettro di progetto.
- T_C** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di progetto.
- T_D** Periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro di progetto.

CI Ed	V _N	V _R	Lat.	Long.	Q _g	CTop	S _T
	[t]	[t]	[°ssdc]	[°ssdc]	[m]		
3	75	113	42.0502	14.7248	105	T1	1,00

LEGENDA:

CI Ed Classe dell'edificio.

Lat. Latitudine geografica del sito.

Long. Longitudine geografica del sito.

Q_g Altitudine geografica del sito.

CTop Categoria topografica (Vedi NOTE).

S_T Coefficiente di amplificazione topografica.

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

Categoria topografica.

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

T2: Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.

T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.

T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

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.

VERIFICHE CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE ALLO SLU

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	R _{tz}	Z _{p.cmp}	Z _{fld}	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed}	Q _{Rd}	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
		[m]	[m]	[°]	[m]	[m]								[N/mm ²]	[N/mm ²]	
Platea 1	5,37	7,20	6,90	180,00	0,40	-	Coesivo	1,45	1,50	0,53	9,60	19,32	9,44	0,044	0,237	N O

LEGENDA:

Id_{Fnd} Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.

CS Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS ≥ 100 ; [VNR]= Verifica Non Richiesta).

L_{x/y} Dimensioni dell'elemento di fondazione.

R_{tz} Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.

Z_{p.cmp} Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.

Z_{fld} Profondità della falda dal piano campagna.

Cmp T Classificazione del comportamento del terreno ai fini del calcolo.

C. Coefficienti correttivi per la formula di Terzaghi.

Terzaghi

Q_{Ed} Carico di progetto sul terreno.

Q_{Rd} Resistenza di progetto del terreno.

R_f [SI] = elemento con presenza di rinforzo; [NO] = elemento senza rinforzo.

GEOTECNICA - VERIFICHE DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali

Id _w	Id _{Δw}	(L/ΔW) _{i-f}	(L/ΔW) _{lim}	CS
001	C0005-C0019	2.314,99	200	11,57
002	C0019-C0009	4.053,88	200	20,27
003	C0009-C0017	37.851,05	200	NS
004	C0017-C0004	2.702,38	200	13,51
005	C0008-C0020	9.171,97	200	45,86
006	C0020-C0007	32.602,23	200	NS
007	C0006-C0014	2.347,36	200	11,74
008	C0014-C0003	5.597,72	200	27,99
009	C0003-C0011	11.481,22	200	57,41
010	C0011-C0001	2.194,59	200	10,97

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali

Idw	Id _{Δw}	(L/ΔW) _{i-f}	(L/ΔW) _{lim}	CS
011	C0010-C0016	2.191,82	200	10,96
012	C0016-C0004	2.789,60	200	13,95
013	C0004-C0013	6.087,71	200	30,44
014	C0013-C0001	6.949,25	200	34,75
015	C0001-C0012	2.886,14	200	14,43
016	C0012-C0002	2.092,69	200	10,46
017	C0005-C0018	6.033,47	200	30,17
018	C0018-C0006	6.497,40	200	32,49
019	C0009-C0021	1.818,14	200	9,09
020	C0021-C0008	5.427,61	200	27,14
021	C0007-C0015	4.712,73	200	23,56
022	C0015-C0003	1.860,53	200	9,30

LEGENDA:

Idw	Identificativo del Punto Significativo (punto in cui viene calcolato il cedimento).
Id_{Δw}	Identificativo del cedimento differenziale.
(L/ΔW)_{i-f}	Distorsione angolare ([NS] = Non Significativo - per valori di (L/ΔW) _{i-f} maggiori o uguali di 50.000).
(L/ΔW)_{lim}	Distorsione angolare limite.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).

GEOTECNICA - VERIFICHE A SCORRIMENTO

Geotecnica - Verifiche a scorrimento

Elm	Dir	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	F _{RD1}	F _{RD2}	F _{RD3}	F _{RD}	CS
		[N]	[N·m]	[N]	[N]	[N]	[N]	[N]	
Platea 1	B	1.463.474	-459.243	-145.949	0	4247507	956095	5203601	35,65
	L	1.462.435	-1.063.921	465.488	0	4221556	997664	5219220	11,21

LEGENDA:

Elm	Elemento di fondazione su cui si esegue la verifica.
Dir	Direzione di verifica: per Plinti [B]= asse locale 2; [L]= asse locale 3. Per Winkler [B]= asse locale 3; [L]= asse locale 1. Per Platee [B]= asse globale Y; [L]= asse globale X.
F_{RD1}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per attrito terra-fondazione.
F_{RD2}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per adesione.
F_{RD3}	Aliquota di resistenza allo scorrimento per affondamento.
F_{RD}	Resistenza allo scorrimento.
CS	Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo per valori di CS >= 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta).
N_{Ed}, M_{Ed}, V_{Ed}	Sollecitazioni di progetto.