



REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO NP1
NUOVO PRONTO SOCCORSO DEL P.O. GIOVANNI PAOLO II DI OLBIA
CUP B95F20002610002 - CIG 8929016918
COMUNE DI OLBIA - PROVINCIA DI SASSARI

Elaborati Testuali

RELAZIONE GEOTECNICA E DELLE FONDAZIONI

G.03 REL_GEO

scala:

Quote: (ml) riferite al livello del mare

Misurazioni: Metri lineari (ml)

PROGETTO ESECUTIVO

Art. 23 comma 8, D.Lgs. n. 50/16

Emissione - Luglio 2023

VISTO:

Il progettista : _____

Il committente: _____

Il direttore Tecnico: _____

Coordinatore della sicurezza in fase di progettazione:

Ing. Dario Solmona

Coordinatore della sicurezza in fase di esecuzione:

Coordinamento e progettazione generale :

Arch. Sandra Deiana
Arch. Giovanni Antonio Spano
Ing. Dario Solmona
Dott. Geol. Roberto Tola
Ing. Massimiliano Deiana
Ing. Simone Meli
Ing. Cristina Azzena
Arch. Pian. Daniele Romeo
Arch. Giorgia Marongiu
Arch. Pian. Marco Careddu

A1 Engineering srl
(Capogruppo mandataria)

mythos  Consorzio Stabile - S.c.a.r.
(Mandante)



www.A1E.it

rev.	data	descrizione	dis.	contr.	approv.
0	07/2023	Prima Emissione	Ing. Meli	Arch. G.A.Spano	Arch. G.A.Spano
1	09/2023	Rev01	Ing. Meli	Arch. G.A.Spano	Arch. G.A.Spano
2					
3					
4					
5					

N.commissa	 Member of CIBO Federation CERTIFIED MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001 - ISO 14001 BS OHSAS 18001	A1Engineering srl Architectural & Engineering Solution www.A1E..it Administrative office Via Delle Felci - 07026 Olbia (OT) - Italy +39 0789 22706 email info@a1e.it fax +39 0789 099856	Registered office Località Geovillage - Circonvallazione Nord Tower 4 - 07026 Olbia (OT) - Sardinia - Italy +39 0789 66897 email segreteria@a1e.it	Branch office Via Villa Severini 54 - 00191 Roma - Italy email estero@a1e.it PI 02280950904 - num rea SS-162738	Licenze Bentley Microstation V8i 17e5b004-b1e1-4e6d-8b15-088a:1262b3f 8986b63-1db4-4e10-932e-f98c516eb8e Autodesk Revit 2009 346-87929677 Autodesk AutoCad2008 345-74323673	Autodesk Architecture2008 346-87929578 345-78590980 Autodesk AutoCadLT2008 346-41690767 346-41690668 Acca Primus Unico 83011949-2072S Acca CertusPRO Unico 85072462-2015N
------------	---	--	---	---	--	--

**Comune di Olbia
Provincia di Sassari**

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE
E DELLE FONDAZIONI**

OGGETTO: Relazione geotecnica relativa al progetto delle opere strutturali riferito alla "Realizzazione dell'intervento NP1 "Nuovo locale Pronto Soccorso del P.O. Giovanni Paolo II di Olbia""

COMMITTENTE: ARES Sardegna

Olbia, 11/07/2023

Il Progettista

(...)

Il Direttore dei Lavori

Il Collaudatore

(...)

(...)

INDICE

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	3
2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3 - INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	3
3.1 Prove effettuate e Caratterizzazione geotecnica	3
3.2 Idrogeologia	4
3.3 Problematiche riscontrate.....	4
4 - MODELLAZIONE GEOTECNICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.....	5
4.1 Modellazione geotecnica.....	5
4.2 Pericolosità sismica.....	5
5 - SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE	6
6 - VERIFICHE DI SICUREZZA.....	7
6.1 Carico limite fondazioni dirette	7
Correzione per fondazione tipo piastra	10
Calcolo del carico limite in condizioni non drenate	10
6.2 Fattori correttivi al carico limite in presenza di sisma	10
7 - STIMA DEI CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI.....	15
7.1 Calcolo dell'incremento delle tensioni	15
Distribuzione delle forze al contatto del piano di posa	16
7.2 Calcolo dei cedimenti	17
7.3 Calcolo delle distorsioni angolari.....	18
8 - VERIFICA A SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA	19

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

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

Questa relazione è stata redatta sulla base dei dati risultanti dalle prove di campagna 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 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

"Aggiornamento delle 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 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5)

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Eurocodice 7 - "Progettazione geotecnica" - EN 1997-1 per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2018 "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

N _{TRN}	γ _T	γ _{Ts}	K ₁			φ	c _u	c'	E _d	E _{cu}	Terreni	
			K _{1x}	K _{1y}	K _{1z}						A _{S-B}	ST_P
	[N/m ³]	[N/m ³]	[N/cm ²]	[N/cm ²]	[N/cm ²]	[°]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Granito arenizzato												
T001	16 530	20 200	60	60	200	30	0,000	0,000	60	0	0,000	NO

LEGENDA:

N_{TRN} Numero identificativo del terreno.

												Terreni	
N_{TRN}	γ_T	γ_{Ts}	K1			ϕ	c_u	c'	E_d	E_{cu}	A_{S-B}	ST_P	
			K_{1X}	K_{1Y}	K_{1Z}								
	[N/m ³]	[N/m ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[N/cm ³]	[°]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]			
γ_T	Peso specifico del terreno.												
γ_{Ts}	Peso specifico saturo del terreno.												
K1	Valori della costante di Winkler riferita alla piastra Standard di lato b = 30 cm nelle direzioni degli assi del riferimento globale X (K _{1X}), Y (K _{1Y}), e Z (K _{1Z}).												
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.												
ST_P	[SI]: Il terreno è usato nella valutazione delle spinte a tergo delle pareti/muri controterra; [NO]: Il terreno NON è usato nella valutazione delle spinte a tergo delle pareti/muri controterra.												

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

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

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

La **profondità o altezza significativa** del volume di calcolo del terreno, usata nelle varie verifiche geotecniche svolte dal programma, come già precedentemente accennato, è funzione del parametro *Multiplo della dimensione significativa della fondazione* (m_{df}).

Per le fondazioni di tipo *travi continue* la profondità significativa h_{vs} del volume di calcolo è pari a:

$$h_{vs} = b \cdot m_{df};$$

dove b è la larghezza della fondazione.

Per le fondazioni di tipo a *platea o a plinti* la profondità significativa h_{vs} del volume di calcolo è pari a:

$$h_{vs} = d_m \cdot m_{df};$$

dove d_m è la media delle dimensioni della base di impronta della platea o del plinto.

Nella seguente tabella sono riportati i valori attribuibili al parametro m_{df} ed il valore predefinito proposto dal programma.

Tipo di fondazione	Range di valori possibili di m_{df}	Valore predefinito di m_{df}
Travi continue	[1; 3]	3
Platee e plinti	[1; 3]	2

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:

A [A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi], 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 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.

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
[°]											[%]
0	15	ND	ca	X Y	- -	S	N	A	NO	SI	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] = Media - [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 - [C-P/MP] = muratura in pietra e/o mattoni pieni - [C-BAS] = muratura in blocchi artificiali con percentuale di foratura > 15%;
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] = Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti - [D] = Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti - [E] = Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D.
- 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 COMPORTAMENTO

Dir	q'	q	q ₀	K _R	Fattori di comportamento	
					α _u /α ₁	k _w
X	-	1,500	3,150	-	1,05	-
Y	-	1,500	3,150	-	1,05	-
Z	-	1,000	-	-	-	-

LEGENDA:

- q'** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU ridotto (Fattore di comportamento ridotto - relazione C7.3.1 circolare NTC)
- q** Fattore di riduzione dello spettro di risposta sismico allo SLU (Fattore di comportamento).
- q₀** Valore di base (comprensivo di k_w).
- K_R** Fattore riduttivo funzione della regolarità in altezza : pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza, 0,8 per costruzioni non regolari in altezza, e 0,75 per costruzioni in muratura esistenti non regolari in altezza (§ C8.5.5.1)..
- α_u/α₁** Rapporto di sovraresistenza.
- k_w** Fattore di riduzione di q₀.

Stato Limite	T _r	a _g /g	Amplif. Stratigrafica		F ₀	F _v	T [*] _c	T _B	T _c	T _D
			S _s	C _c						
	[t]						[s]	[s]	[s]	[s]
SLO	60	0,0254	1,000	1,000	2,685	0,577	0,299	0,100	0,299	1,702
SLD	101	0,0314	1,000	1,000	2,730	0,653	0,307	0,102	0,307	1,726
SLV	949	0,0599	1,000	1,000	2,976	0,983	0,371	0,124	0,371	1,840
SLC	1950	0,0707	1,000	1,000	3,061	1,099	0,393	0,131	0,393	1,883

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.
- F_v** Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione verticale.
- 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]		
4	50	100	40.914300	9.473041	33	T1	1,00

LEGENDA:

- CI Ed** Classe dell'edificio
- V_N** Vita nominale ([t] = anni).
- V_R** Periodo di riferimento. [t] = anni.
- 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 ≤ 15°.
- T2: Pendii con inclinazione media i > 15°.
- T3: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°.
- T4: Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°.

5 - SCELTA TIPOLOGICA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

La tipologia delle opere di fondazione è consona 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 §2.6.1 del D.M. 2018, 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. 2018.

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni [cfr. D.M. 2018]

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	A1 (STR)	A2 (GEO)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,30	1,00
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,80	0,80
	Sfavorevole		1,50	1,30
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,00	0,00
	Sfavorevole		1,50	1,30

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

I valori di resistenza del terreno sono stati ridotti tramite i coefficienti della colonna M1 definiti nella tabella 6.2.II del D.M. 2018.

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno [cfr. D.M. 2018]

PARAMETRO GEOTECNICO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan\phi_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza 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. 2018 per le fondazioni superficiali.

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Verifica	Coefficiente Parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

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:

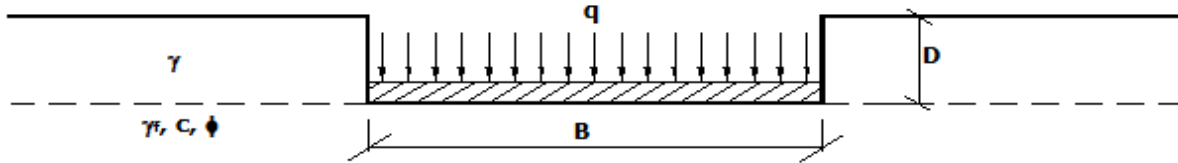
- c = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;
- $q = \gamma \cdot D$ = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;
- γ = peso unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione;
- D = profondità del piano di posa della 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:

$$\begin{aligned} B' &= B - 2 \cdot e_B & e_B &= \text{eccentricità parallela al lato di dimensione B;} \\ L' &= L - 2 \cdot e_L & e_L &= \text{eccentricità parallela al lato di dimensione L;} \\ & & & \text{con } B' \leq L'. \end{aligned}$$

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:

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

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:

$$\begin{aligned} K &= \frac{D}{B'} & \text{se } \frac{D}{B'} &\leq 1; \\ K &= \arctg \left(\frac{D}{B'} \right) & \text{se } \frac{D}{B'} &> 1. \end{aligned}$$

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:

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

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

se la forza H è parallela alla direzione longitudinale della fondazione

$$m = m_\theta = m_L \cdot \cos^2\theta + m_B \cdot \sin^2\theta$$

se la forza H forma un angolo θ 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;

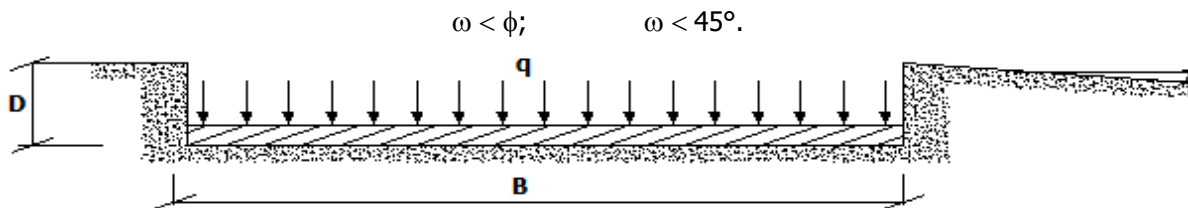
V = componente verticale dei carichi agente sul piano di posa della fondazione.

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:

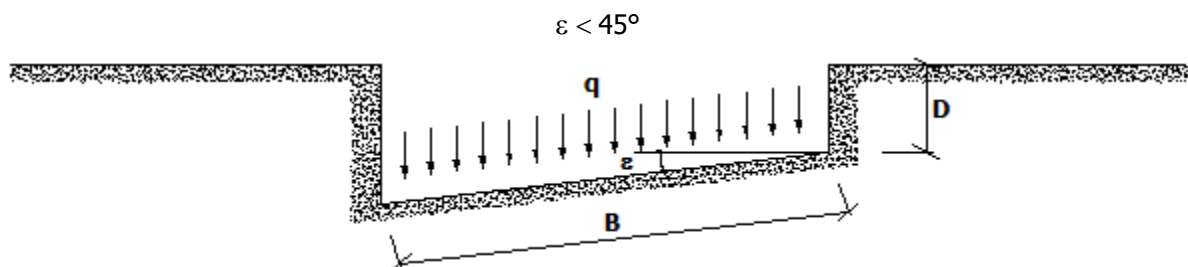


Calcolo dei fattori di inclinazione del piano di posa g_c, g_q, g_γ

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

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

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



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:

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

= 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 Ψ_c , Ψ_q , Ψ_γ 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 ($c \neq 0, \phi \neq 0$)
$\Psi_c = 0.32 + 0.12 \cdot \frac{B'}{L'} + 0.6 \cdot \text{Log}(I_r)$	$\Psi_c = \Psi_q - \frac{1 - \Psi_q}{N_c \cdot \tan \phi}$
$\Psi_q = 1$	$\Psi_q = e^{\left\{ \left(0.6 \frac{B'}{L'} - 4.4 \right) \tan \phi + \frac{3.07 \cdot \sin \phi \cdot \text{Log}(2 \cdot I_r)}{1 + \sin \phi} \right\}}$
$\Psi_\gamma = 1$	$\Psi_\gamma = \Psi_q$

Correzione per fondazione tipo piastra

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

Calcolo del carico limite in condizioni non drenate

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

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

dove:

c_u = coesione non drenata;

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

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

6.2 Fattori correttivi al carico limite in presenza di sisma

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

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

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

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

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

Z_c, Z_q, Z_γ = coefficienti correttivi dovuti all'effetto inerziale;
 c_γ = coefficiente correttivo dovuto all'effetto cinematico.

Calcolo del fattore correttivo dovuto all'effetto cinematico c_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 $z_c = 0$
	$z_\gamma = z_q = \left(1 - \frac{K_{hi}}{\tan \phi}\right)^{0.35}$ se $\frac{K_{hi}}{\tan \phi} < 1$ altrimenti $z_\gamma = z_q = 0$

dove:

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

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

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. 2018).

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:

$$\text{Coef. Cor. Terzaghi per } N_q = s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q \cdot \psi_{q,z} \cdot Z_q$$

$$\text{Coef. Cor. Terzaghi per } N_c = s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \cdot \psi_{c,z} \cdot Z_c$$

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

VERIFICHE CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE ALLO SLU

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x [m]	L _y [m]	R _{tz} [°]	Z _{p,cmp} [m]	Z _{Fid} [m]	Cmp T	C. Terzaghi						Q _{Ed} [N/mm ²]	Q _{Rd} [N/mm ²]	R _f
								per N _q	per N _c	per N _γ	N _q	N _c	N _γ			
Trave 7-12	2,77	2,68	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,74	0,00	0,70	18,40	30,14	22,40	0,110	0,304	N
Trave 1-7	7,80	5,79	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,86	18,40	30,14	22,40	0,034	0,267	N
Trave 5-6	4,12	3,20	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,43	0,00	0,77	18,40	30,14	22,40	0,065	0,270	N
Trave 6-8	7,82	5,79	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,86	18,40	30,14	22,40	0,034	0,267	N
Trave 8-19	2,70	2,68	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,75	0,00	0,69	18,40	30,14	22,40	0,113	0,305	N
Trave 11-12	3,55	3,73	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,44	0,00	0,82	18,40	30,14	22,40	0,078	0,277	N
Trave 18-19	2,31	4,20	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,47	0,00	0,80	18,40	30,14	22,40	0,121	0,278	N
Trave 24-25	3,45	3,55	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,54	0,00	0,78	18,40	30,14	22,40	0,083	0,286	N
Trave 23-36	5,96	4,52	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,48	0,00	0,78	18,40	30,14	22,40	0,046	0,277	N
Trave 20-21	2,96	3,30	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,60	0,00	0,76	18,40	30,14	22,40	0,098	0,291	N
Trave 35-36	1,89	3,30	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,67	0,00	0,72	18,40	30,14	22,40	0,157	0,297	N
Trave 33-34	2,72	4,35	1,53	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,72	18,40	30,14	22,40	0,098	0,266	N
Trave 22-24	7,20	4,52	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,50	0,00	0,84	18,40	30,14	22,40	0,040	0,286	N
Trave 26-27	1,67	3,58	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,79	18,40	30,14	22,40	0,119	0,199	N
Trave 27-28	2,01	4,34	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,26	0,00	0,72	18,40	30,14	22,40	0,098	0,197	N
Trave 28-29	1,60	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,28	0,00	0,67	18,40	30,14	22,40	0,120	0,193	N
Trave 25-26	1,64	3,55	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,39	0,00	0,78	18,40	30,14	22,40	0,123	0,201	N
Trave 10-11	2,36	3,55	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,39	0,00	0,84	18,40	30,14	22,40	0,088	0,208	N
Trave 21-23	5,85	5,28	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,85	18,40	30,14	22,40	0,035	0,205	N
Trave 30-29	1,75	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,23	0,00	0,65	18,40	30,14	22,40	0,106	0,185	N
Trave 30-31	1,74	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,22	0,00	0,64	18,40	30,14	22,40	0,106	0,183	N
Trave 31-32	1,76	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,23	0,00	0,65	18,40	30,14	22,40	0,105	0,185	N
Trave 32-33	1,60	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,28	0,00	0,67	18,40	30,14	22,40	0,120	0,193	N
Trave 34-35	1,68	3,82	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,80	18,40	30,14	22,40	0,119	0,201	N
Trave 19-20	2,55	3,97	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,84	18,40	30,14	22,40	0,080	0,203	N

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLU

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	Rtz	Z _{p.cmp}	Z _{Fid}	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			
Trave 17-18	1,45	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,40	0,00	0,81	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,141	0,205	N O
Trave 15-16	1,59	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,38	0,00	0,82	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,128	0,205	N O
Trave 16-17	1,60	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,38	0,00	0,82	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,128	0,204	N O
Trave 14-15	1,60	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,38	0,00	0,82	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,128	0,204	N O
Trave 13-14	1,45	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,40	0,00	0,81	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,142	0,205	N O
Trave 12-13	1,66	4,20	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,38	0,00	0,80	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,122	0,202	N O
Trave 1-2	2,98	3,20	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,77	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,065	0,195	N O
Trave 2-3	3,12	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,78	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,063	0,197	N O
Trave 3-4	3,14	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,79	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,063	0,198	N O
Trave 4-5	3,12	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,78	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,063	0,197	N O
Trave 9-10	2,18	3,55	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,46	0,00	0,77	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,094	0,206	N O
Trave 9-22	5,53	5,28	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,36	0,00	0,86	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,037	0,206	N O
Trave 27-37	3,08	4,48	1,50	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,37	0,00	0,84	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,071	0,220	N O
Trave 43-40	1,02	0,65	1,90	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,29	0,00	0,87	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,239	0,244	N O
Trave 45-41	3,11	3,29	1,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,48	0,00	0,66	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,071	0,222	N O
Trave 34-38	2,99	4,48	1,50	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,38	0,00	0,84	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,074	0,220	N O
Trave 40-44	3,36	3,30	1,90	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,48	0,00	0,64	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,067	0,226	N O
Trave 39-43	4,74	3,52	1,90	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,37	0,00	0,72	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,048	0,227	N O
Trave 41-46	1,08	0,78	1,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,34	0,00	0,84	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,220	0,236	N O
Trave 38-45	3,11	2,57	1,50	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,65	0,00	0,70	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,098	0,303	N O
Trave 37-44	2,28	2,57	1,50	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,55	0,00	0,71	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,096	0,219	N O
Trave 25-39	4,06	6,67	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,27	0,00	0,89	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,050	0,202	N O
Trave 46-42	4,34	3,37	1,80	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,39	0,00	0,70	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,051	0,221	N O
Trave 36-42	5,18	6,67	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,26	0,00	0,88	18,4 0	30,1 4	22,4 0	0,039	0,200	N O

LEGENDA:

- Id_{Fnd}** Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
CS Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se CS ≥ 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
L_{x/y} Dimensioni dell'elemento di fondazione.
Rtz Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.
Z_{p.cmp} Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
Z_{Fid} 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.

VERIFICHE CARICO LIMITE FONDAZIONI DIRETTE ALLO SLD

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLD

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	Rtz	Z _{p.cmp}	Z _{Fid}	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			

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLD

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]										
Trave 7-12	5,34	2,68	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,70	0,00	0,69	18,40	30,14	22,40	0,071	0,379	NON
Trave 1-7	14,18	5,79	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,31	0,00	0,84	18,40	30,14	22,40	0,024	0,334	NON
Trave 5-6	7,78	3,20	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,41	0,00	0,75	18,40	30,14	22,40	0,043	0,338	NON
Trave 6-8	14,19	5,79	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,31	0,00	0,84	18,40	30,14	22,40	0,024	0,335	NON
Trave 8-19	5,22	2,68	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,71	0,00	0,68	18,40	30,14	22,40	0,073	0,380	NON
Trave 11-12	6,78	3,73	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,41	0,00	0,81	18,40	30,14	22,40	0,051	0,346	NON
Trave 18-19	4,49	4,20	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,44	0,00	0,78	18,40	30,14	22,40	0,077	0,348	NON
Trave 24-25	6,63	3,55	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,51	0,00	0,77	18,40	30,14	22,40	0,054	0,358	NON
Trave 23-36	11,25	4,52	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,44	0,00	0,78	18,40	30,14	22,40	0,031	0,347	NON
Trave 20-21	5,72	3,30	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,56	0,00	0,74	18,40	30,14	22,40	0,063	0,363	NON
Trave 35-36	3,74	3,30	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,63	0,00	0,71	18,40	30,14	22,40	0,099	0,371	NON
Trave 33-34	4,97	4,35	1,53	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,32	0,00	0,71	18,40	30,14	22,40	0,067	0,334	NON
Trave 22-24	13,35	4,52	1,30	0,00	1,00	-	NON Coesivo	1,46	0,00	0,83	18,40	30,14	22,40	0,027	0,357	NON
Trave 26-27	3,24	3,58	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,33	0,00	0,77	18,40	30,14	22,40	0,077	0,249	NON
Trave 27-28	3,66	4,34	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,25	0,00	0,70	18,40	30,14	22,40	0,067	0,247	NON
Trave 28-29	2,94	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,26	0,00	0,66	18,40	30,14	22,40	0,082	0,242	NON
Trave 25-26	3,19	3,55	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,37	0,00	0,76	18,40	30,14	22,40	0,079	0,252	NON
Trave 10-11	4,52	3,55	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,37	0,00	0,82	18,40	30,14	22,40	0,058	0,260	NON
Trave 21-23	10,79	5,28	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,31	0,00	0,84	18,40	30,14	22,40	0,024	0,257	NON
Trave 30-29	3,19	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,21	0,00	0,64	18,40	30,14	22,40	0,073	0,233	NON
Trave 30-31	3,16	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,20	0,00	0,63	18,40	30,14	22,40	0,073	0,231	NON
Trave 31-32	3,19	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,21	0,00	0,64	18,40	30,14	22,40	0,073	0,233	NON
Trave 32-33	2,94	3,35	1,53	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,26	0,00	0,66	18,40	30,14	22,40	0,082	0,242	NON
Trave 34-35	3,26	3,82	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,33	0,00	0,79	18,40	30,14	22,40	0,077	0,251	NON
Trave 19-20	4,88	3,97	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,32	0,00	0,82	18,40	30,14	22,40	0,052	0,255	NON
Trave 17-18	2,82	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,37	0,00	0,79	18,40	30,14	22,40	0,091	0,256	NON
Trave 15-16	3,10	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,80	18,40	30,14	22,40	0,082	0,256	NON
Trave 16-17	3,11	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,80	18,40	30,14	22,40	0,082	0,256	NON
Trave 14-15	3,11	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,80	18,40	30,14	22,40	0,082	0,256	NON
Trave 13-14	2,82	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,37	0,00	0,79	18,40	30,14	22,40	0,091	0,256	NON
Trave 12-13	3,23	4,20	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,35	0,00	0,78	18,40	30,14	22,40	0,078	0,253	NON
Trave 1-2	5,64	3,20	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,32	0,00	0,75	18,40	30,14	22,40	0,043	0,245	NON
Trave 2-3	5,89	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,31	0,00	0,77	18,40	30,14	22,40	0,042	0,247	NON
Trave 3-4	5,91	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,32	0,00	0,77	18,40	30,14	22,40	0,042	0,248	NON
Trave 4-5	5,89	3,35	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,31	0,00	0,77	18,40	30,14	22,40	0,042	0,247	NON
Trave 9-10	4,22	3,55	1,30	0,00	0,65	-	NON Coesivo	1,42	0,00	0,75	18,40	30,14	22,40	0,061	0,257	NON

Verifiche Carico Limite fondazioni dirette allo SLD

Id _{Fnd}	CS	L _x	L _y	Rtz	Z _{p.cmp}	Z _{Fid}	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 9-22	10,20	5,28	1,30	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,32	0,00	0,84	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,025	0,257	O N O
Trave 27-37	5,86	4,48	1,50	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,34	0,00	0,83	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,047	0,275	O N O
Trave 43-40	1,91	0,65	1,90	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,28	0,00	0,84	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,159	0,304	O N O
Trave 45-41	5,28	3,29	1,80	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,41	0,00	0,68	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,053	0,280	O N O
Trave 34-38	5,67	4,48	1,50	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,34	0,00	0,82	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,048	0,274	O N O
Trave 40-44	5,70	3,30	1,90	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,41	0,00	0,67	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,050	0,285	O N O
Trave 39-43	7,81	3,52	1,90	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,34	0,00	0,69	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,036	0,283	O N O
Trave 41-46	2,05	0,78	1,80	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,33	0,00	0,80	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,144	0,295	O N O
Trave 38-45	5,11	2,57	1,50	0,00	1,00	-	Coesivo NON	1,60	0,00	0,71	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,074	0,379	O N O
Trave 37-44	3,77	2,57	1,50	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,50	0,00	0,71	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,073	0,275	O N O
Trave 25-39	7,66	6,67	1,30	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,24	0,00	0,88	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,033	0,253	O N O
Trave 46-42	7,11	3,37	1,80	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,35	0,00	0,69	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,039	0,277	O N O
Trave 36-42	8,90	6,67	1,30	0,00	0,65	-	Coesivo NON	1,24	0,00	0,86	0 18,4 0	4 30,1 4	0 22,4 0	0,028	0,252	O N O

LEGENDA:

- Id_{Fnd}** Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
CS Coefficiente di sicurezza ([NS] = Non Significativo se CS ≥ 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
L_x/Y Dimensioni dell'elemento di fondazione.
Rtz Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della platea.
Z_{p.cmp} Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
Z_{Fid} 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.
Terzag
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:

$$\sigma_z = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{z^3}{R^5}$$

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

$$\tau_{rz} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{z^2 \cdot r}{R^5}$$

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

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

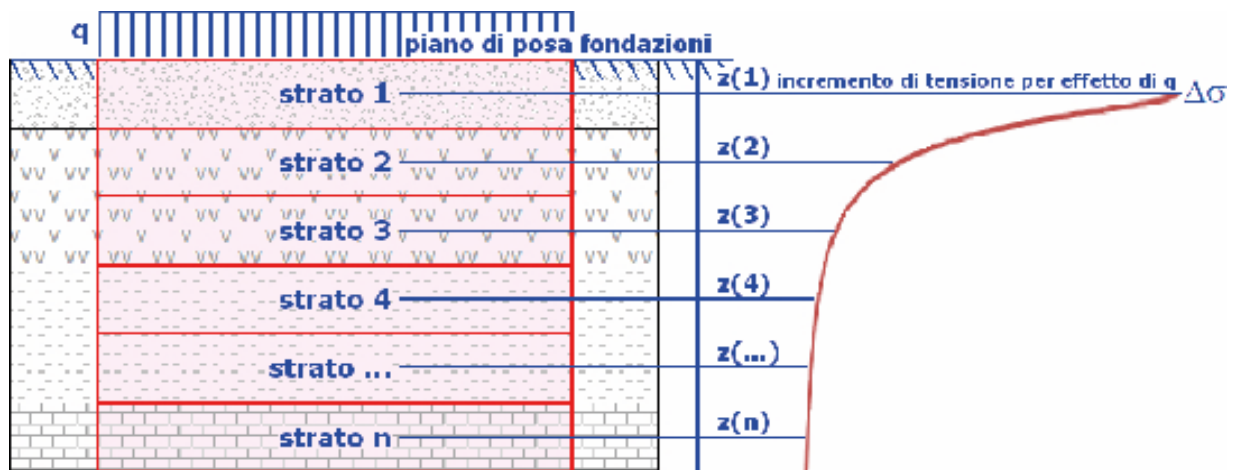
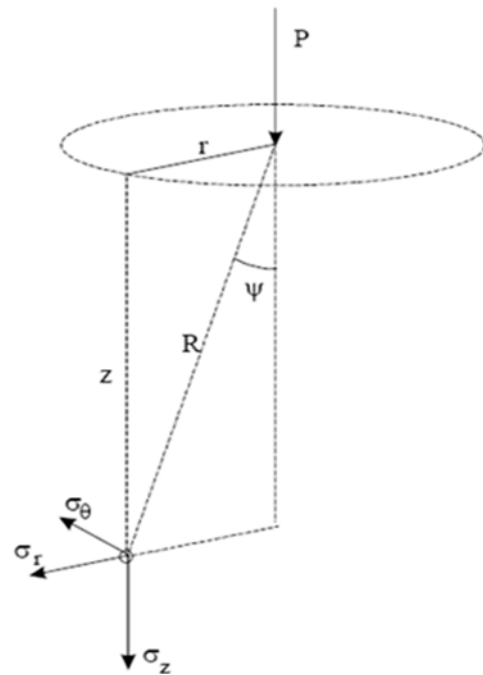
I valori delle tensioni radiali σ_r e tangenti σ_θ , proiettati sugli assi X e Y, diventano:

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

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

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.

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

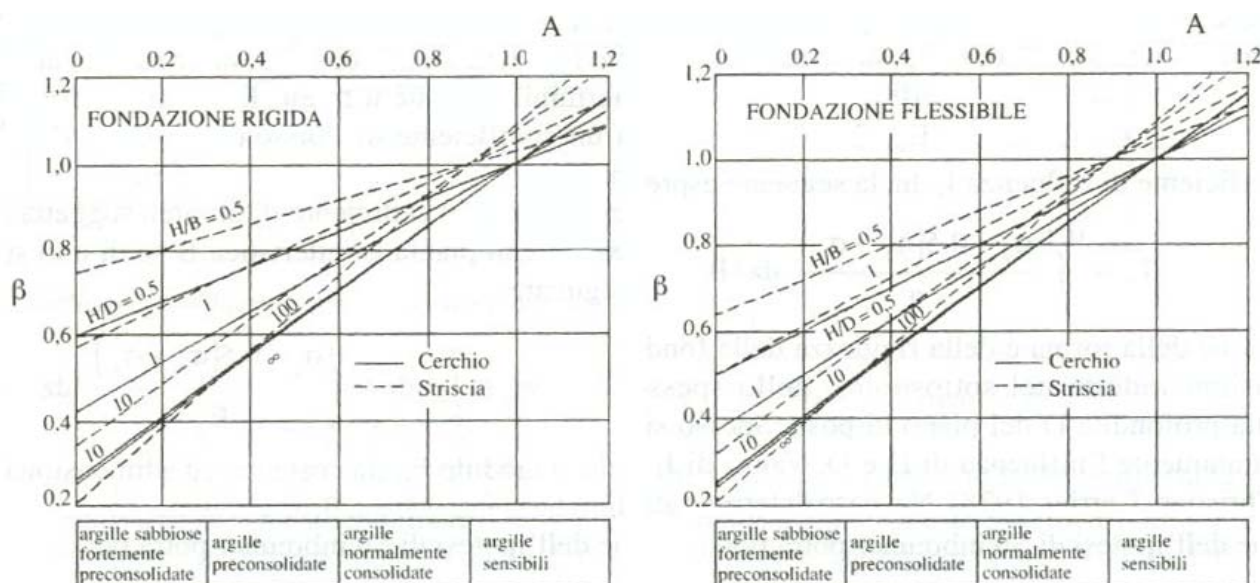
Il metodo edometrico fornisce il cedimento a lungo termine, NON consentendo di valutare il cedimento iniziale. Calcolato l'incremento di tensioni $\Delta\sigma$ nei vari strati, ognuno di spessore H_i e modulo $E_{ed,i}$, il cedimento edometrico risulta pari a:

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

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 ÷ 1,50
normale	0,50 ÷ 1,00
poco sovraconsolidato	0,20 ÷ 0,50
molto sovraconsolidato	0,00 ÷ 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	C0003-C0001	8 418,12	200	42,09
002	C0003-C0064	20 126,89	200	NS
003	C0064-C0066	NS	200	NS
004	C0066-C0068	NS	200	NS
005	C0068-C0005	18 178,20	200	90,89
006	C0005-C0006	17 455,67	200	87,28
007	C0006-C0008	10 705,96	200	53,53
008	C0071-C0035	5 773,45	200	28,87
009	C0035-C0011	8 384,67	200	41,92
010	C0011-C0002	6 455,68	200	32,28
011	C0002-C0059	7 811,57	200	39,06
012	C0059-C0057	NS	200	NS
013	C0057-C0053	NS	200	NS
014	C0053-C0054	NS	200	NS
015	C0054-C0051	NS	200	NS
016	C0051-C0013	16 086,84	200	80,43
017	C0013-C0010	15 967,99	200	79,84
018	C0010-C0019	8 605,17	200	43,03
019	C0019-C0020	4 261,09	200	21,31

Geotecnica - Verifiche dei cedimenti differenziali

Id_w	Id_{Δw}	(L/ΔW)_{i-f}	(L/ΔW)_{lim}	CS
020	C0015-C0016	3 315,24	200	16,58
021	C0016-C0027	11 550,03	200	57,75
022	C0027-C0028	7 474,86	200	37,37
023	C0028-C0030	7 279,24	200	36,40
024	C0030-C0032	21 616,73	200	NS
025	C0032-C0039	43 477,32	200	NS
026	C0039-C0042	NS	200	NS
027	C0042-C0044	45 130,02	200	NS
028	C0044-C0023	15 001,10	200	75,01
029	C0023-C0024	9 212,51	200	46,06
030	C0024-C0021	18 699,76	200	93,50
031	C0021-C0018	10 724,66	200	53,62
032	C0030-C0076	26 072,90	200	NS
033	C0023-C0082	18 700,81	200	93,50
034	C0085-C0077	3 670,17	200	18,35
035	C0077-C0078	3 711,99	200	18,56
036	C0078-C0084	3 632,50	200	18,16
037	C0079-C0080	3 616,09	200	18,08
038	C0080-C0088	5 101,48	200	25,51
039	C0088-C0096	3 135,99	200	15,68
040	C0001-C0002	4 726,17	200	23,63
041	C0008-C0010	5 944,02	200	29,72
042	C0071-C0025	7 398,21	200	36,99
043	C0025-C0015	21 261,17	200	NS
044	C0002-C0028	16 576,46	200	82,88
045	C0010-C0024	15 570,53	200	77,85
046	C0020-C0017	8 683,72	200	43,42
047	C0017-C0018	6 456,29	200	32,28
048	C0018-C0096	7 109,21	200	35,55
049	C0016-C0085	4 872,29	200	24,36
050	C0028-C0076	12 206,56	200	61,03
051	C0076-C0084	2 716,17	200	13,58
052	C0024-C0082	31 187,76	200	NS
053	C0082-C0079	2 603,96	200	13,02

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 se CS ≥ 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).

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. 2018).

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 7-12	B	142 756	12 177	9 313	74927	0	16847	91774	9,85
	L	149 606	31 375	-12 275	78523	0	6034	84557	6,89
Trave 1-7	B	367 777	5 073	-69 933	193033	0	43864	236897	3,39
	L	350 842	-20 520	-73 526	184144	0	7577	191721	2,61
Trave 5-6	B	208 397	570	13 573	109380	0	24330	133710	9,85
	L	193 814	6 875	-11 271	101726	0	7598	109324	9,70
Trave 6-8	B	368 148	-4 790	70 188	193228	0	43864	237092	3,38
	L	349 299	-20 154	-73 809	183334	0	7577	190911	2,59
Trave 8-19	B	142 804	-12 594	-9 508	74953	0	16847	91800	9,65
	L	150 142	31 915	-12 142	78804	0	6025	84829	6,99
Trave 11-12	B	260 539	-4 467	16 573	136748	0	28911	165659	10,00
	L	250 051	451	12 317	131243	0	7761	139004	11,29
Trave 18-19	B	266 427	-5 701	18 085	139838	0	30146	169984	9,40
	L	256 170	32 584	-14 136	134454	0	7178	141632	10,02
Trave 24-25	B	244 737	-2 202	16 435	128454	0	24971	153425	9,34
	L	241 972	-9 174	11 753	127002	0	7034	134036	11,40
Trave 23-36	B	313 349	-6 640	-14 948	164466	0	34267	198732	13,29
	L	318 910	-4 313	-20 284	167384	0	7562	174946	8,62
Trave 20-21	B	217 338	3 376	14 670	114073	0	24065	138137	9,42
	L	206 962	21 974	-11 107	108627	0	7292	115919	10,44
Trave 35-36	B	217 933	-1 666	14 662	114385	0	22276	136661	9,32
	L	215 810	51 973	-11 053	113271	0	6750	120021	10,86
Trave 33-34	B	337 667	-38 817	26 245	177229	0	31622	208852	7,96
	L	337 111	61 690	-20 422	176937	0	8842	185779	9,10
Trave 22-24	B	304 909	5 709	14 786	160036	0	33530	193566	13,09
	L	310 794	8 632	-21 190	163125	0	7399	170524	8,05
Trave 26-27	B	245 449	414	15 924	128827	0	12512	141340	8,88
	L	244 429	35 091	11 834	128292	0	3499	131791	11,14
Trave 27-28	B	371 777	-37 927	26 514	195132	0	16167	211299	7,97
	L	371 831	-17 197	20 183	195161	0	4525	199685	9,89
Trave 28-29	B	281 394	-32 897	20 116	147694	0	12542	160235	7,97
	L	282 544	1 553	15 670	148297	0	4517	152814	9,75
Trave 25-26	B	247 444	834	16 118	129874	0	12970	142845	8,86
	L	245 540	-6 370	11 752	128875	0	3654	132529	11,28
Trave 10-11	B	231 471	-1 962	16 119	121491	0	13282	134773	8,36
	L	221 198	1 188	11 736	116099	0	3741	119840	10,21
Trave 21-23	B	331 332	-7 750	-17 470	173904	0	18976	192880	11,04
	L	343 725	-18 665	-23 677	180409	0	3588	183997	7,77
Trave 30-29	B	281 932	32 823	-19 732	147976	0	12541	160517	8,13
	L	286 115	1 834	15 865	150171	0	4518	154690	9,75
Trave 30-31	B	282 411	-32 645	19 512	148227	0	12541	160768	8,24
	L	284 788	-888	-15 847	149475	0	4519	153994	9,72
Trave 31-32	B	281 890	-32 395	19 766	147954	0	12541	160495	8,12
	L	283 498	-866	-15 849	148798	0	4519	153317	9,67
Trave 32-33	B	281 536	-32 382	20 052	147768	0	12541	160309	7,99
	L	282 162	-869	-15 849	148097	0	4519	152616	9,63
Trave 34-35	B	263 422	3 007	16 731	138261	0	14488	152749	9,13
	L	261 771	-9 002	-12 783	137394	0	3795	141189	11,05
Trave 19-20	B	269 749	-4 416	17 379	141582	0	15232	156814	9,02

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]	
	L	258 038	8 114	-13 353	135435	0	3839	139274	10,43
Trave 17-18	B	221 683	-1 746	14 210	116353	0	12541	128895	9,07
	L	214 066	3 427	-11 283	112356	0	3741	116097	10,29
Trave 15-16	B	221 536	-1 568	13 831	116276	0	12541	128817	9,31
	L	215 424	-575	-11 282	113068	0	3741	116810	10,35
Trave 16-17	B	221 012	-1 730	14 012	116001	0	12541	128542	9,17
	L	214 275	-580	-11 283	112465	0	3741	116207	10,30
Trave 14-15	B	221 130	-1 720	13 972	116063	0	12541	128604	9,20
	L	216 574	-574	-11 283	113672	0	3741	117413	10,41
Trave 13-14	B	221 855	-1 610	14 254	116444	0	12541	128985	9,05
	L	218 844	-4 672	-11 282	114863	0	3741	118605	10,51
Trave 12-13	B	262 377	-5 732	18 232	137712	0	14903	152615	8,37
	L	253 006	-11 902	13 866	132794	0	3552	136346	9,83
Trave 1-2	B	196 076	-264	13 606	102913	0	11714	114627	8,42
	L	186 604	-6 290	-11 270	97942	0	3659	101600	9,02
Trave 2-3	B	207 296	-1 717	13 972	108802	0	12541	121343	8,68
	L	195 799	-655	-11 799	102768	0	3741	106509	9,03
Trave 3-4	B	207 704	-1 705	13 831	109016	0	12541	121557	8,79
	L	194 651	-657	-11 799	102165	0	3741	105907	8,98
Trave 4-5	B	207 145	-1 587	14 012	108723	0	12541	121264	8,65
	L	193 498	-656	-11 799	101560	0	3741	105302	8,92
Trave 9-10	B	220 295	1 341	16 432	115625	0	12522	128147	7,80
	L	209 640	-14 610	11 736	110032	0	3527	113560	9,68
Trave 9-22	B	328 770	7 271	17 199	172559	0	18976	191535	11,14
	L	341 345	-18 890	-24 727	179160	0	3588	182748	7,39
Trave 27-37	B	340 295	12 427	20 341	178609	0	14743	193352	9,51
	L	339 234	-54 825	-26 672	178052	0	3892	181943	6,82
Trave 43-40	B	59 591	9 983	7 128	31277	0	2049	33327	4,68
	L	60 122	-5 022	5 471	31556	0	4412	35968	6,57
Trave 45-41	B	293 066	5 021	28 884	153820	0	10885	164705	5,70
	L	295 785	-54 136	-23 075	155247	0	4745	159992	6,93
Trave 34-38	B	322 238	-12 855	-20 605	169131	0	14796	183927	8,93
	L	321 843	-49 861	-26 327	168924	0	3905	172829	6,56
Trave 40-44	B	288 436	15 934	32 992	151390	0	10900	162290	4,92
	L	291 566	62 807	25 573	153032	0	5021	158054	6,18
Trave 39-43	B	325 567	25 279	35 839	170878	0	12400	183278	5,11
	L	327 924	3 700	27 207	172115	0	5369	177484	6,52
Trave 41-46	B	80 162	7 895	7 392	42074	0	2620	44694	6,05
	L	80 745	4 472	-5 857	42380	0	4497	46877	8,00
Trave 38-45	B	186 730	-6 795	-12 516	98008	0	16152	114160	9,12
	L	185 235	45 479	-15 683	97223	0	7156	104379	6,66
Trave 37-44	B	165 675	7 176	12 341	86957	0	7701	94658	7,67
	L	164 054	35 005	-15 883	86106	0	3412	89518	5,64
Trave 25-39	B	413 199	-16 546	22 569	216873	0	22581	239454	10,61
	L	413 940	-36 464	-30 634	217262	0	3381	220644	7,20
Trave 46-42	B	316 000	9 980	30 031	165857	0	11730	177587	5,91
	L	317 741	9 029	-23 629	166771	0	4994	171764	7,27
Trave 36-42	B	459 995	-2 775	-22 842	241435	0	23994	265429	11,62
	L	461 800	-3 781	-29 890	242382	0	3594	245976	8,23

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 se CS ≥ 100; [VNR]= Verifica Non Richiesta; Informazioni aggiuntive sulla condizione: [V] = statica; [E] = eccezionale; [S] = sismica; [N] = sismica non lineare).
N_{Ed}, M_{Ed}, V_{Ed} Sollecitazioni di progetto.

Olbia, 31/08/2023

Il progettista strutturale

...

Per presa visione, il direttore dei lavori

...

Per presa visione, il collaudatore

...