AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DELL'AQUILA

- UFFICIO TECNICO -
SETTORE VIABILITA' - LOGISTICA E PROTEZIONE CIVILE

S.P. 20 "MARRUVIANA" - LAVORI DI ADEGUAMENTO ED AMPLIAMENTO TRATTO COMUNE DI SAN BENEDETTO DEI MARSI / INCROCIO CINTARELLA



PROGETTO DEFINITIVO

Il Progettista

Ing. Giuseppe Pace

eta consult s.r.l.
servizi di ingegneria
strada statale 17 KM 43+200
L'AQUILA (AQ)

Il Responsabile del Procedimento

Ing. Angela Ghizzoni

Visto Il Dirigente

Ing. Nicolino D'Amico

OPERA

RELAZIONI TECNICHE

ALLEGATO

RT 03

TAVOLA

RELAZIONE GEOTECNICA TOMBINI IDRAULICI E MURI D'ALA

SCALA

DATA

Ottobre 2022

Aggiornamenti		
Mod.	Data	
Rev. 0		
Rev. 1		

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilitàdei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l' esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
Circolare n.7 del 21/01/2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'<<Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni>> di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Calcolo del carico sulla calotta

Pressione Geostatica

In questo caso la pressione in calotta viene calcolata come prodotto tra il peso di volume del terreno per l'altezza del ricoprimento (Spessore dello strato di terreno superiore). Quindi la pressione in calotta è fornita dalla seguente relazione:

$$P_v = \gamma H$$

Se sul profilo del piano campagna sono presenti dei sovraccarichi, concentrati e/o distribuiti, la diffusione di questi nel terreno avviene secondo un angolo, rispetto alla verticale, pari a 18.71°.

Spinta sui piedritti

Spinta attiva - Metodo di Coulomb

La teoria di Coulomb considera l'ipotesi di un cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea. Dall'equilibrio del cuneo si ricava la spinta che il terreno esercita sull'opera di sostegno. In particolare Coulomb ammette, al contrario della teoria di Rankine, l'esistenza di attrito fra il terreno e la parete, e quindi la retta di spinta risulta inclinata rispetto alla normale alla parete stesso di un angolo di attrito terra-parete.
L'espressione della spinta esercitata da un terrapieno, di peso di volume γ, su una parete di altezza *H*, risulta espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione (per terreno incoerente)

$$S = 1/2\gamma H^2 K_a$$

K_a rappresenta il coefficiente di spinta attiva di Coulomb nella versione riveduta da Muller-Breslau, espresso come

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \phi)}{\sin^2\alpha \, \sin(\alpha-\delta) \left[1 + \frac{\sqrt{[\, \sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\beta) \,]}}{\sqrt{[\, \sin(\alpha-\delta)\sin(\alpha+\beta) \,]}} \right]^2}$$

dove ϕ è l'angolo d'attrito del terreno, α rappresenta l'angolo che la parete forma con l'orizzontale ($\alpha = 90°$ per parete verticale), δ è l'angolo d'attrito terreno-parete, β è l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale.
La spinta risulta inclinata dell'angolo d'attrito terreno-parete δ rispetto alla normale alla parete.
Il diagramma delle pressioni del terreno sulla parete risulta triangolare con il vertice in alto. Il punto di applicazione della spinta si trova in corrispondenza del baricentro del diagramma delle pressioni (*1/3 H* rispetto alla base della parete). L'espressione di K_a perde di significato per $\beta>\phi$. Questo coincide con quanto si intuisce fisicamente: la pendenza del terreno a monte della parete non può superare l'angolo di natural declivio del terreno stesso.

Nel caso di terreno dotato di attrito e coesione *c* l'espressione della pressione del terreno ad una generica profondità *z* vale

$$\sigma_a = \gamma z \, K_a - 2 \, c \, \sqrt{K_a}$$

Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni sulla parete risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma_a = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso di volume dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

Spinta a Riposo

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo.
Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

dove ϕ rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfianco.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità *z* e la spinta totale sulla parete di altezza *H* valgono

$$\sigma = \gamma\, z\, K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2\, \gamma\, H^2\, K_0 + p_v K_0\, H$$

dove p_v è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Spinta in presenza di sisma - Metodo di Mononobe-Okabe

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.
Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta *S'* considerando un'inclinazione del terrapieno e della parete pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \mathrm{arctg}(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h.
Detta *S* la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente *A* vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta\cos\theta}$$

Tale incremento di spinta deve essere applicato ad una distanza dalla base pari a 1/2 dell'altezza della parete.
Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali che si destano per effetto del sisma. Tale forza viene valutata come

$$F_i = CW$$

dove *W* è il peso della parete e dei relativi sovraccarichi permanenti e va applicata nel baricentro dei pesi.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q. Cioè, detto Q_u, il carico limite ed *R* la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} >= \eta_q$$

Terzaghi ha proposto la seguente espressione per il calcolo della capacità portante di una fondazione superficiale.

$$q_u = cN_c s_c + qN_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma$$

La simbologia adottata è la seguente:

c	coesione del terreno in fondazione;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	peso di volume del terreno in fondazione;
B	larghezza della fondazione;
D	profondità del piano di posa;
q	pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I fattori di capacità portante sono espressi dalle seguenti relazioni:

$$N_q = \frac{e^{2(0.75\pi-\phi/2)tg(\phi)}}{2\cos^2(45+\phi/2)}$$

$$N_c = (N_q - 1)ctg\phi$$

$$N_\gamma = \frac{tg\phi}{2}\left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1\right)$$

I fattori di forma s_c e s_γ che compaiono nella espressione di q_u dipendono dalla forma della fondazione. In particolare valgono 1 per fondazioni nastriformi o rettangolari allungate e valgono rispettivamente 1.3 e 0.8 per fondazioni quadrate.

termine $K_{p\gamma}$ che compare nell'espressione di N_γ non ha un'espressione analitica. Pertanto si assume per N_γ l'espressione proposta da Meyerof

$$N_\gamma = (N_q - 1)tg(1.4*\phi)$$

Strategia di soluzione

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.
La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.
Il terreno di rinfianco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa.
A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, $\mathbf{K}_e$, si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura **K**. Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali(reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali **p**.
Indicando con **u** il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$\mathbf{K\,u = p}$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti **u**

$$\mathbf{u = K^{-1}\,p}$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

Modellazione Geologico-Tecnica del sottosuolo

Il sito può essere geotecnicamente schematizzato come una successione di natura alluvionale in che si sviluppa da Est a Ovest con la seguente diposizione ricostruita fino alle profondità indagate:
-terreni di riporto o naturali (suolo agrario) dello spessore tra i 1.50 e 4.2 m, (indicato con la sigla R)
-Limi sabbiosi fino ai 2.80 m dal p.c., (indicato con la sigla LS mancante in S2) Limi argillosi con livelli sabbiosi e argillosi decimetrici fino a -11.40 nel S2 m (indicato con la sigla LA)
-Argille grigie e limi (indicato con la sigla AL) fino alla quota di cica 28.50 m Limi argillosi con livelli sabbiosi (indicato con la sigla LAS)

Di seguito si riporta la tabella con indicata la stratigrafia schematica relativa ad ogni verticale di sondaggio

Tabella 1: sintesi Parametri geotecnici di riferimento per le seguenti opere:
Ponte sul canale Cintarella
Tombino circolare n.2
Muro in c.a. n. 2

ORIZZONTE GEOTECNICO Lato Cintarella	Verticale (profondità dal p.c.)	Peso di volume naturale	Peso di volume saturo	Angolo di attrito interno	Angolo di attrito interno efficace	Coesione non drenata	Coesione	Modulo di Young	Modulo Edometrico (*)
		γ_v (g/cm³)	γ_{sat} (g/cm³)	Φ (°)	Φ ' (°)	Cu (Kg/cm²)	C (Kg/cm²)	Y (Kg/cm²)	Ed (Kg/cm²)
STRATO R Spessore 4.30 m	Variabile da m 0.0 a m 4.30	1.63	1.92	0	25	0.1	0.01	62.07	Vedi allegato cert di laboratorio n. 19628-1
STRATO LA Spessore 7.10 m	da m 4.30 a m 11.40	1.67	1.87	0	22	0.27	0.02	66.77	Vedi allegato cert di laboratorio n. 19628-2-3
STRATO AL Spessore 17.10 m	da m 11.40 a m 28.50	1.69	1.89	0	21.2	0.22	0.02	44.49	111.23
STRATO LAS Spessore indefinito	da m 28.50 a m 35 M (FINE FORO)	1.67	1.87	0	26.3	0.40	0.04	31.89	98.39

(*) dipendente dal carico applicato

Tabella 2: sintesi Parametri geotecnici di riferimento per le seguenti opere:
Tombino circolare n. 1
Muro in c.a. n. 1

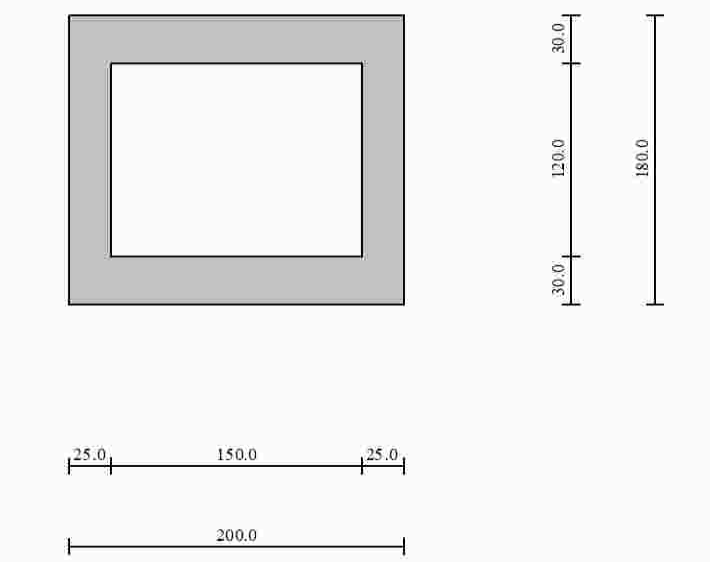
ORIZZONTE GEOTECNICO Lato San Benedetto	Verticale (profondità dal p.c.)	Peso di volume naturale	Peso di volume saturo	Angolo di attrito interno	Angolo di attrito interno efficace	Coesione non drenata	Coesione	Modulo di Young	Modulo Edometrico (*)
		γ_v (g/cm³)	γ_{sat} (g/cm³)	Φ (°)	Φ ' (°)	Cu (Kg/cm²)	C (Kg/cm²)	Y (Kg/cm²)	Ed (Kg/cm²)
STRATO R Spessore 1.50 m	Variabile da m 0.0 a m 1.50	1.63	1.92	0	18.71	0.1	0.01	43.73	Vedi allegato cert di laboratorio n. 19628-1
STRATO LS Spessore 1.30 m	da m 1.50 a m 2.80	1.72	1.92	0	23.24	0.32	0.03	191.62	51.44
STRATO LA Spessore indefinito (stimato 17 m)	da m 2.80 a m 15.00	1.67	1.87	0	21.59	0.12	0.01	77.99	Vedi allegato cert di laboratorio n. 19628-2-3

(*) dipendente dal carico applicato

TOMBINO N°1

Geometria scatolare

Descrizione:	Scatolare semplice	
Altezza esterna	1,80	[m]
Larghezza esterna	2,00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	0,00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	0,00	[m]
Spessore piedritto sinistro	0,25	[m]
Spessore piedritto destro	0,25	[m]
Spessore fondazione	0,30	[m]
Spessore traverso	0,30	[m]



Caratteristiche strati terreno

Strato di ricoprimento

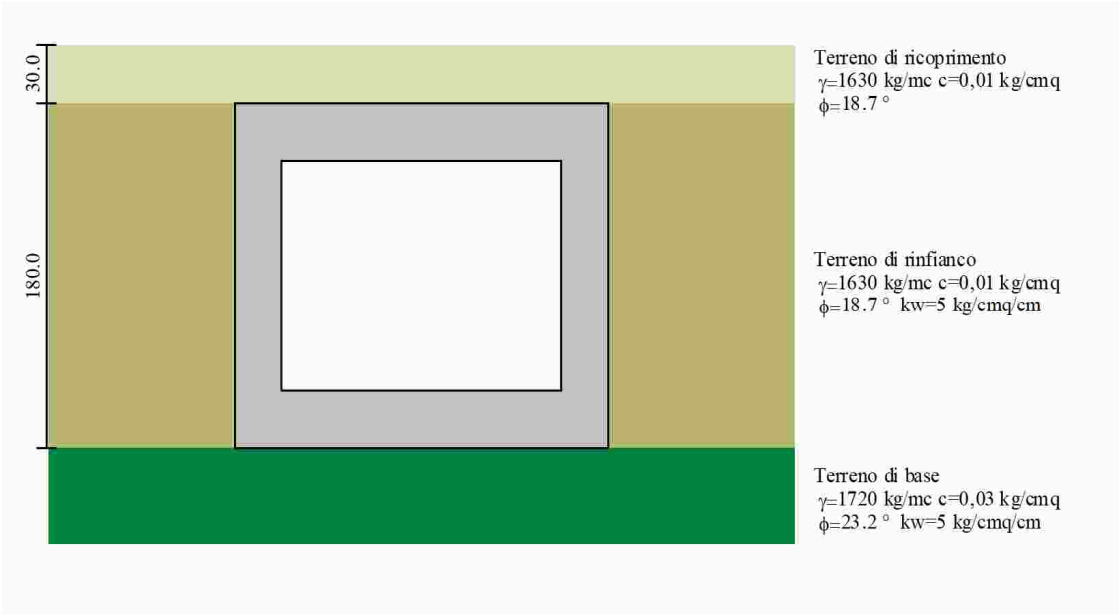
Descrizione	Terreno di ricoprimento	
Spessore dello strato	0,30	[m]
Peso di volume	1630,00	[kg/mc]
Peso di volume saturo	1920,00	[kg/mc]
Angolo di attrito	18,71	[°]
Coesione	0,01	[kg/cmq]

Strato di rinfianco

Descrizione	Terreno di rinfianco	
Peso di volume	1630,00	[kg/mc]
Peso di volume saturo	1920,00	[kg/mc]
Angolo di attrito	18,71	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	12,47	[°]
Coesione	0,01	[kg/cmq]
Costante di Winkler	5,00	[kg/cmq/cm]

Strato di base

Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	1720,00	[kg/mc]
Peso di volume saturo	1920,00	[kg/mc]
Angolo di attrito	23,24	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	15,50	[°]
Coesione	0,03	[kg/cmq]
Costante di Winkler	5,00	[kg/cmq/cm]
Tensione limite	3,00	[kg/cmq]



Inviluppo spostamenti nodali

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,13	-0,0348	0,0352	0,0471	0,5591
0,53	-0,0349	0,0351	0,0488	0,5418
1,00	-0,0350	0,0350	0,0509	0,5324
1,47	-0,0351	0,0349	0,0488	0,5418
1,81	-0,0352	0,0348	0,0471	0,5591

Inviluppo spostamenti traverso

X [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,13	-0,0438	0,0441	0,0473	0,5632
0,53	-0,0438	0,0440	0,0494	0,5766
1,00	-0,0439	0,0439	0,0519	0,5837
1,47	-0,0440	0,0438	0,0494	0,5766
1,88	-0,0441	0,0438	0,0473	0,5632

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,15	-0,0348	0,0352	0,0471	0,5591
0,90	-0,0387	0,0402	0,0472	0,5612
1,65	-0,0438	0,0441	0,0473	0,5632

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,15	-0,0352	0,0348	0,0471	0,5591
0,90	-0,0402	0,0387	0,0472	0,5612
1,65	-0,0441	0,0438	0,0473	0,5632

Inviluppo sollecitazioni nodali

Inviluppo sollecitazioni fondazione

X [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,13	-3109	-362	-22006	-1596	707	2291
0,53	27	3983	-10828	-758	707	2217
1,00	262	6809	63	1248	707	2217
1,47	27	3983	1010	13367	707	2217
1,88	-3109	-362	1596	22006	707	2291

Inviluppo sollecitazioni traverso

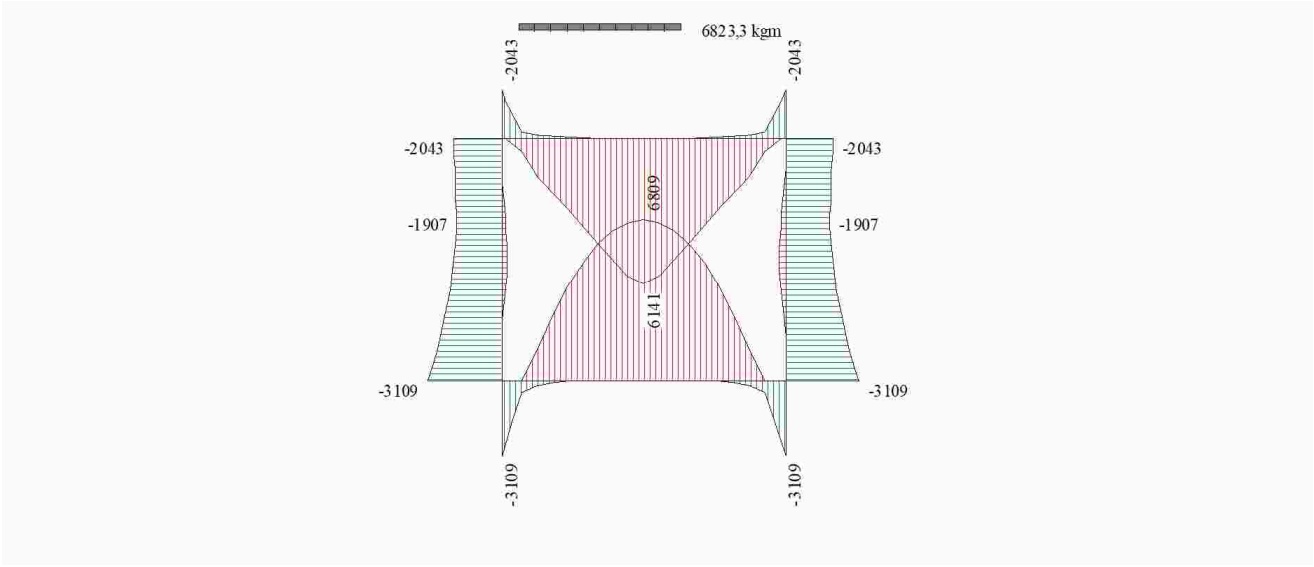
X [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,13	-2043	-173	915	21661	-147	1980
0,53	-49	2953	468	8401	-147	1861
1,00	90	6141	-42	42	-147	1725
1,47	-49	2953	-8401	-468	-147	1861
1,88	-2043	-173	-21661	-915	-147	1980

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

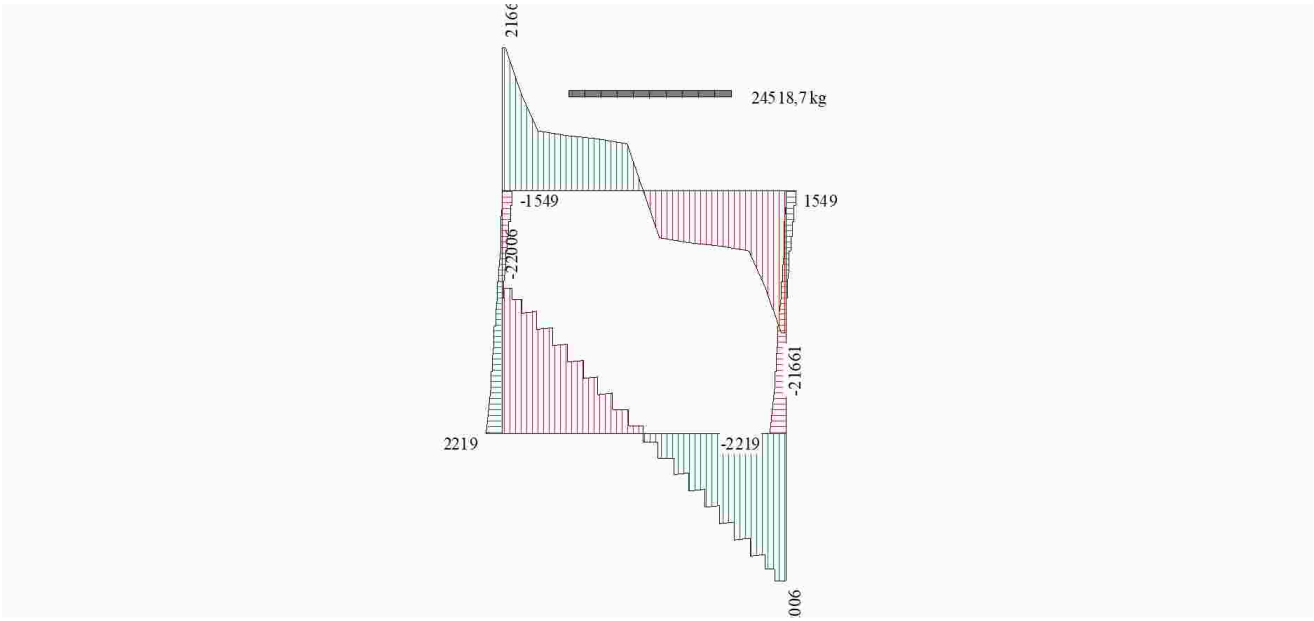
Y [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,15	-3109	-362	708	2219	1670	22879
0,90	-1984	229	-197	750	1292	22270
1,65	-2043	-173	-1549	147	915	21661

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

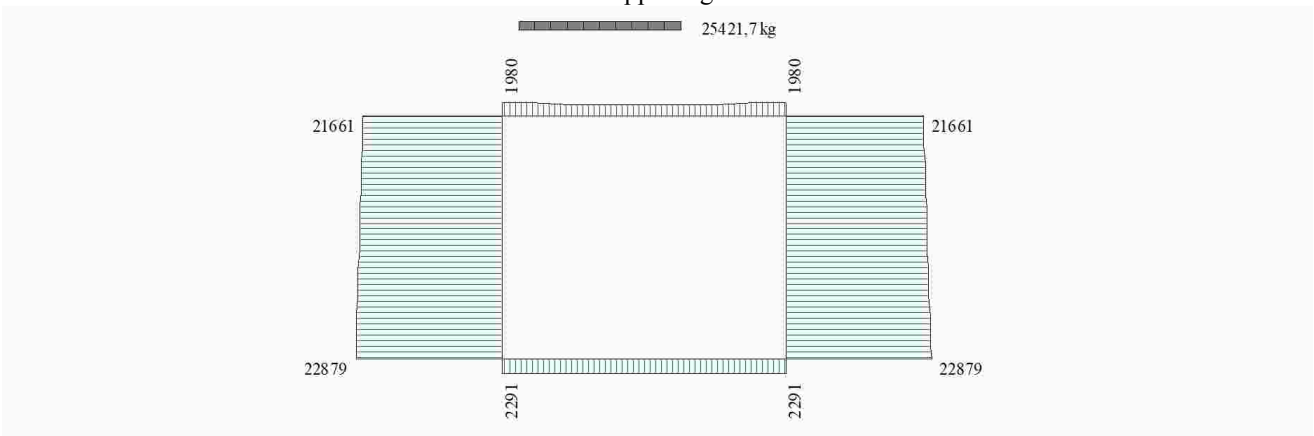
Y [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,15	-3109	-362	-2219	-708	1670	22879
0,90	-1984	229	-750	197	1292	22270
1,65	-2043	-173	-147	1549	915	21661



Inviluppo Momenti



Inviluppo Tagli



Inviluppo Sforzo Normale

Inviluppo pressioni terreno

Inviluppo pressioni sul terreno di fondazione

X [m]	σ_{tmin} [kg/cmq]	σ_{tmax} [kg/cmq]
0,13	0,24	2,80
0,53	0,24	2,71
1,00	0,25	2,66
1,47	0,24	2,71
1,88	0,24	2,80

Verifiche geotecniche

Simbologia adottata

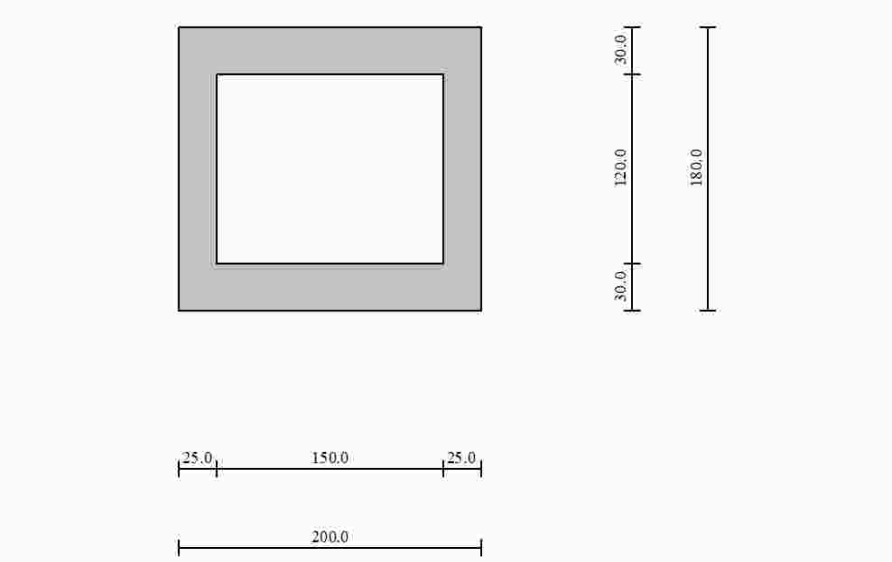
IC	Indice della combinazione
Nc, Nq, Nγ	Fattori di capacità portante
Nc, Nq, Nγ	Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.
qu	Portanza ultima del terreno, espressa in [kg/cmq]
Q_U	Portanza ultima del terreno, espressa in [kg]/m
Q_Y	Carico verticale al piano di posa, espressa in [kg]/m
FS	Fattore di sicurezza a carico limite

IC	Nc	Nq	Nγ	N'c	N'q	N'γ	qu	Q_U	Q_Y	FS
1	22,12	10,50	6,06	22,12	10,50	6,06	5,30	105995	6962	15,22
2	22,12	10,50	6,06	22,12	10,50	6,06	5,30	105995	44090	2,40
3	22,12	10,50	6,06	22,12	10,50	6,06	5,30	105995	47465	2,23
4	22,12	10,50	6,06	22,12	10,50	6,06	5,19	103856	6230	16,67
5	22,12	10,50	6,06	22,12	10,50	6,06	5,16	103255	4481	23,04
6	22,12	10,50	6,06	22,12	10,50	6,06	5,19	103856	6230	16,67
7	22,12	10,50	6,06	22,12	10,50	6,06	5,16	103255	4481	23,04

TOMBINO N°2

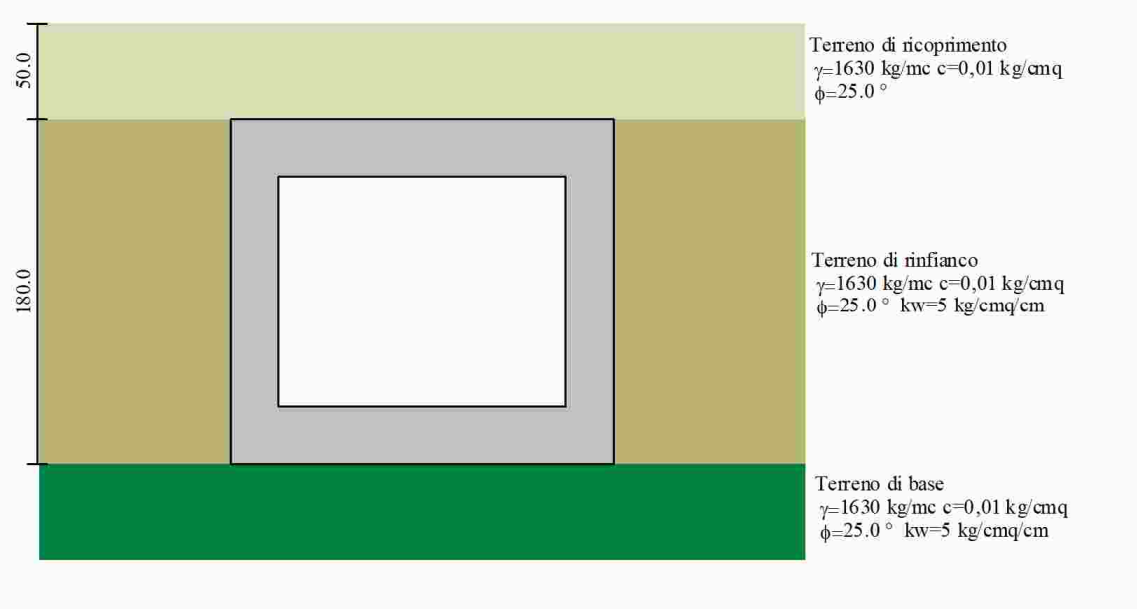
Geometria scatolare

Descrizione:	Scatolare semplice	
Altezza esterna	1,80	[m]
Larghezza esterna	2,00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	0,00	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	0,00	[m]
Spessore piedritto sinistro	0,25	[m]
Spessore piedritto destro	0,25	[m]
Spessore fondazione	0,30	[m]
Spessore traverso	0,30	[m]



Caratteristiche strati terreno

Strato di ricoprimento		
Descrizione	Terreno di ricoprimento	
Spessore dello strato	0,50	[m]
Peso di volume	1630,00	[kg/mc]
Peso di volume saturo	1920,00	[kg/mc]
Angolo di attrito	25,00	[°]
Coesione	0,01	[kg/cmq]
Strato di rinfianco		
Descrizione	Terreno di rinfianco	
Peso di volume	1630,00	[kg/mc]
Peso di volume saturo	1920,00	[kg/mc]
Angolo di attrito	25,00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	16,33	[°]
Coesione	0,01	[kg/cmq]
Costante di Winkler	5,00	[kg/cmq/cm]
Strato di base		
Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	1630,00	[kg/mc]
Peso di volume saturo	1920,00	[kg/mc]
Angolo di attrito	25,00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	16,33	[°]
Coesione	0,01	[kg/cmq]
Costante di Winkler	5,00	[kg/cmq/cm]
Tensione limite	3,00	[kg/cmq]



Verifiche fessurazione

Simbologia adottata ed unità di misura

N°	*Indice sezione*
X_i	*Ascissa/Ordinata sezione, espresso in m*
M_p	*Momento, espresse in kgm*
M_n	*Momento, espresse in kgm*
w_k	*Ampiezza fessure, espresse in mm*
w_{lim}	*Apertura limite fessure, espresse in mm*
s	*Distanza media tra le fessure, espresse in mm*
ε_{sm}	*Deformazione nelle fessure, espresse in [%]*

Verifica fessurazione fondazione [Combinazione n° 8 - SLE (Rara)]

N°	X	A_{fi}	A_{fs}	Mp	Mn	M	w	w_{lim}	s_m	ε_{sm}
1	0,13	6,16	6,16	4601	-4601	1830	0,00	100,00	0,00	0,00000
2	0,53	6,16	10,78	4630	-4792	-2566	0,00	100,00	0,00	0,00000
3	1,00	6,16	12,32	4639	-4855	-4317	0,00	100,00	0,00	0,00000
4	1,47	6,16	10,78	4630	-4792	-2566	0,00	100,00	0,00	0,00000
5	1,88	6,16	6,16	4601	-4601	1830	0,00	100,00	0,00	0,00000

Inviluppo spostamenti nodali

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,13	-0,0397	0,0401	0,0526	0,4900
0,53	-0,0398	0,0400	0,0548	0,4746
1,00	-0,0399	0,0399	0,0574	0,4663
1,47	-0,0400	0,0398	0,0548	0,4746
1,81	-0,0401	0,0397	0,0526	0,4900

Inviluppo spostamenti traverso

X [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,13	-0,0499	0,0503	0,0529	0,4936
0,63	-0,0500	0,0502	0,0562	0,5092
1,00	-0,0501	0,0501	0,0587	0,5139
1,38	-0,0502	0,0500	0,0562	0,5092
1,88	-0,0503	0,0499	0,0529	0,4936

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,15	-0,0397	0,0401	0,0526	0,4900
0,90	-0,0440	0,0461	0,0527	0,4918
1,65	-0,0499	0,0503	0,0529	0,4936

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u_{Xmin} [cm]	u_{Xmax} [cm]	u_{Ymin} [cm]	u_{Ymax} [cm]
0,15	-0,0401	0,0397	0,0526	0,4900
0,90	-0,0461	0,0440	0,0527	0,4918
1,65	-0,0503	0,0499	0,0529	0,4936

Inviluppo sollecitazioni nodali

Inviluppo sollecitazioni fondazione

X [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,13	-2636	-387	-19173	-1877	653	2382
0,53	24	3544	-9428	-873	653	2263
1,00	307	6006	51	1093	653	2127
1,47	24	3544	1158	11653	653	2263
1,88	-2636	-387	1877	19173	653	2382

Inviluppo sollecitazioni traverso

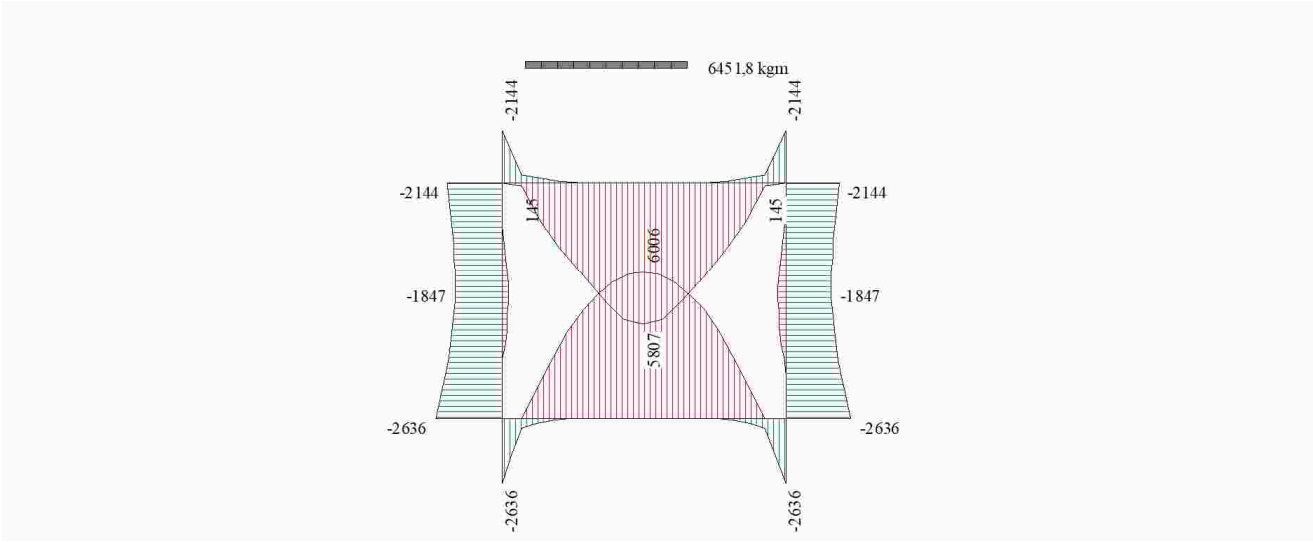
X [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,13	-2144	-201	1204	18720	78	2268
0,63	18	3798	494	8160	78	2122
1,00	132	5807	-44	44	78	2013
1,38	18	3798	-8160	-494	78	2122
1,88	-2144	-201	-18720	-1204	78	2268

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

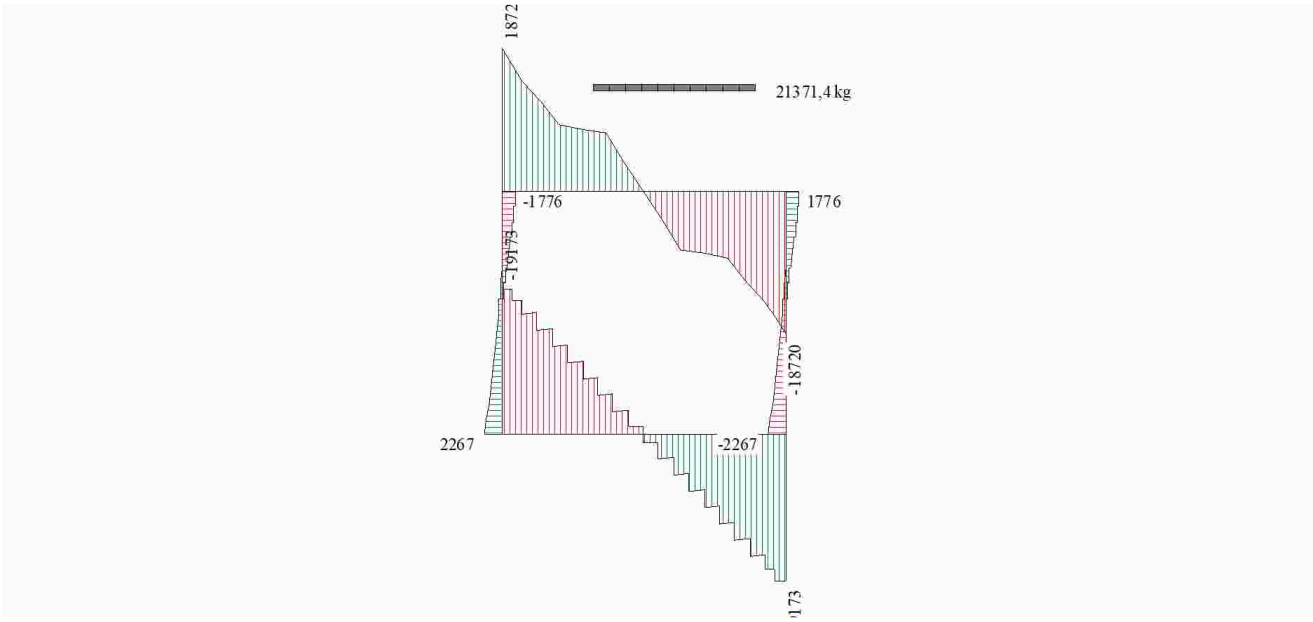
Y [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,15	-2636	-387	654	2267	1959	19939
0,90	-1852	265	-170	399	1581	19330
1,65	-2144	-201	-1776	-78	1204	18720

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

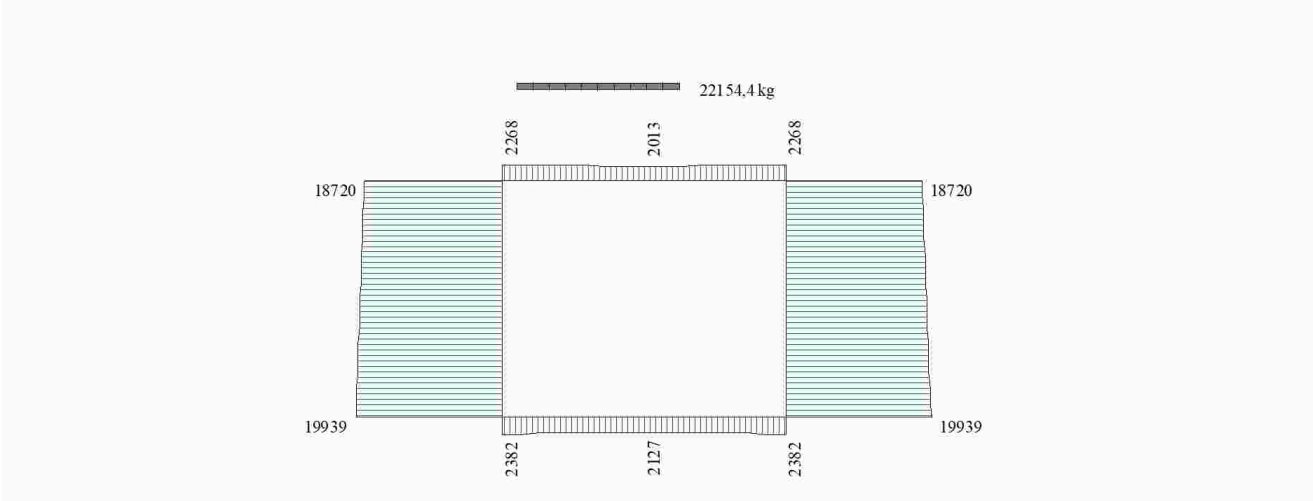
Y [m]	M_{min} [kgm]	M_{max} [kgm]	V_{min} [kg]	V_{max} [kg]	N_{min} [kg]	N_{max} [kg]
0,15	-2636	-387	-2267	-654	1959	19939
0,90	-1852	265	-399	170	1581	19330
1,65	-2144	-201	78	1776	1204	18720



Inviluppo Momenti



Inviluppo Taglio



Inviluppo Sforzo Normale

Inviluppo pressioni terreno

Inviluppo pressioni sul terreno di fondazione

X [m]	σ_{tmin} [kg/cmq]	σ_{tmax} [kg/cmq]
0,13	0,26	2,45
0,53	0,27	2,37
1,00	0,29	2,33
1,47	0,27	2,37
1,88	0,26	2,45

Verifiche geotecniche

Simbologia adottata

IC	Indice della combinazione
Nc, Nq, N_g	Fattori di capacità portante
Nc, Nq, N_g	Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.
qu	Portanza ultima del terreno, espressa in [kg/cmq]
Q_U	Portanza ultima del terreno, espressa in [kg]/m
Q_Y	Carico verticale al piano di posa, espressa in [kg]/m
FS	Fattore di sicurezza a carico limite

IC	Nc	Nq	Nγ	N'c	N'q	N'γ	qu	Q_U	Q_Y	FS
1	25,13	12,72	8,21	25,13	12,72	8,21	6,36	127159	7704	16,51
2	25,13	12,72	8,21	25,13	12,72	8,21	6,36	127159	39775	3,20
3	25,13	12,72	8,21	25,13	12,72	8,21	6,36	127159	41584	3,06
4	25,13	12,72	8,21	25,13	12,72	8,21	6,26	125136	6801	18,40
5	25,13	12,72	8,21	25,13	12,72	8,21	6,18	123553	5052	24,46
6	25,13	12,72	8,21	25,13	12,72	8,21	6,26	125136	6801	18,40
7	25,13	12,72	8,21	25,13	12,72	8,21	6,18	123553	5052	24,46

MURI D'ALA TOMBINO N°1

Relazione geotecnica

Dati

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata
(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n° numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	0,00	0,00	0.000
2	8,00	0,00	0.000

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.000 [°]

Descrizione terreni

Parametri di resistenza

Simbologia adottata
n° Indice del terreno
Descr Descrizione terreno
γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c Coesione espressa in [kg/cmq]
c_a Adesione terra-muro espressa in [kg/cmq]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix
Cesp Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
τ_l Tensione tangenziale limite, espressa in [kg/cmq]

n°	Descr	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cmq]	ca [kg/cmq]	Cesp	τ_l [kg/cmq]	
1	Terreno	1630,00	1920,00	18.710	12.470	0,01	0,01	---	---	
2	Terreno 2	1720,00	1920,00	23.240	15.490	0,03	0,02	---	---	

Stratigrafia

Simbologia adottata
n° Indice dello strato
H Spessore dello strato espresso in [m]
α Inclinazione espressa in [°]
Terreno Terreno dello strato
Kwn, Kwt Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm^2/cm
Per calcolo pali (solo se presenti)
Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
Ks Coefficiente di spinta
Cesp Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')
Kst_{sta}, Kst_{sis} Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H [m]	α [°]	Terreno	Kwn [Kg/cm³]	Kwt [Kg/cm³]	Kw [Kg/cm³]	Ks	Cesp	Kst_{sta}	Kst_{sis}
1	1,85	0.000	Terreno	0.000	0.000	---	---	---	---	---
2	3,00	0.000	Terreno 2	5.000	5.000	---	---	---	---	---

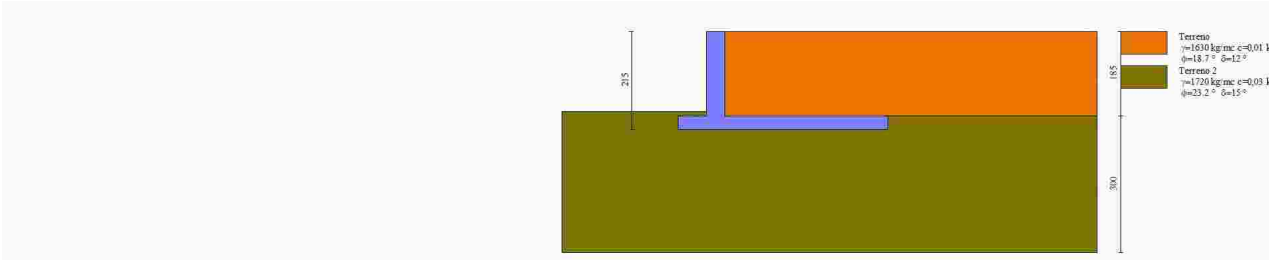


Fig. 1 - Stratigrafia

Risultati

Verifiche geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS_{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS_{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS_{QLIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS_{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS_{HYD}	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS_{UPL}	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS_{SCO}	FS_{RIB}	FS_{QLIM}	FS_{STAB}	FS_{HYD}	FS_{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)		2.636		2.901			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.266		2.063			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.178		2.285			
4 - GEO (A2-M2-R2)					1.756		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.597		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.552		
7 - EQU (A1-M1-R3)			18.874				
8 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		7.922				
9 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		4.189				

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kg]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kg]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kg]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kg]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kg]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kg]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
1 - STR (A1-M1-R3)	7300	0	0	--	--	7300	2770	2.636
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	7012	0	0	--	--	7012	5541	1.266
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	6154	0	0	--	--	6154	5222	1.178

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kg]
Qu	carico limite del terreno, espresso in [kg]
Qd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limie e carico agente al piano di posa)

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	
1 - STR (A1-M1-R3)	23905	69360	49543	2.901
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	22868	47182	39319	2.063
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	19769	45167	37639	2.285

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, N_γ	Fattori di capacità portante
ic, iq, i_γ	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, d_γ	Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, g_γ	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, b_γ	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, s_γ	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, p_γ	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re	Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc	Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic
r_γ	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B\gamma N_\gamma$ viene moltiplicato per questo fattore
D	Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B'	Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H	Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ	Peso di volume del terreno medio, espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]

c Coesione del terreno medio, espresso in [kg/cmq]
Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

n°	Nc Nq Nγ	ic iq iγ	dc dq dγ	gc gq gγ	bc bq bγ	sc sq sγ	pc pq pγ	Ir	Irc	Re	rγ
1	18.344 8.877 5.025	0.859 0.859 0.512	1.027 1.013 1.013	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.796	0.912
2	18.344 8.877 5.025	0.720 0.720 0.171	1.027 1.013 1.013	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.903	0.912
3	18.344 8.877 5.025	0.698 0.698 0.132	1.027 1.013 1.013	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.943	0.912

n°	D	B'	H	γ	ϕ	c
	[m]	*[m]*	*[m]*	*[°]*	*[kg/mc]*	*[kg/cmq]*
1	0,40	4,50	3,41	1720	23.24	0,03
2	0,40	4,50	3,41	1720	23.24	0,03
3	0,40	4,50	3,41	1720	23.24	0,03

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n° Indice combinazione
Ms Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
Mr Momento ribaltante, espresso in [kgm]
FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)
La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms	Mr	FS
	[kgm]	*[kgm]*	
7 - EQU (A1-M1-R3)	61541	3261	18.874
8 - EQU (A1-M1-R3) H + V	60464	7632	7.922
9 - EQU (A1-M1-R3) H - V	54338	12971	4.189

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic Indice/Tipo combinazione
C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R Raggio, espresso in [m]
FS Fattore di sicurezza

Ic	C	R	FS
	[m]	*[m]*	
4 - GEO (A2-M2-R2)	0,00; 1,50	5,07	1.756
5 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-0,50; 4,00	7,35	1.597
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-0,50; 4,00	7,35	1.552

Dettagli strisce verifiche stabilità

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
W peso della striscia espresso in [kg]
Qy carico sulla striscia espresso in [kg]
Qf carico acqua sulla striscia espresso in [kg]
α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	236	0	0	4,85 - 0,35	67.096	15.160	0,01	0,000	
2	637	0	0	0,35	58.822	15.160	0,01	0,000	
3	929	518	0	0,35	51.798	15.160	0,01	0,000	
4	1171	910	0	0,35	45.761	18.960	0,02	0,000	
5	1443	910	0	0,35	40.328	18.960	0,02	0,000	
6	1607	910	0	0,35	35.308	18.960	0,02	0,000	
7	1744	910	0	0,35	30.584	18.960	0,02	0,000	
8	1858	910	0	0,35	26.083	18.960	0,02	0,000	
9	1951	910	0	0,35	21.749	18.960	0,02	0,000	
10	2026	910	0	0,35	17.544	18.960	0,02	0,000	
11	2085	910	0	0,35	13.434	18.960	0,02	0,000	
12	2127	4	0	0,35	9.394	18.960	0,02	0,000	
13	2155	0	0	0,35	5.401	18.960	0,02	0,000	
14	2086	0	0	0,35	1.435	18.960	0,02	0,000	

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
15	2729	0	0	0,35	-2.525	18.960	0,02	0,000	
16	1159	0	0	0,35	-6.497	18.960	0,02	0,000	
17	1096	0	0	0,35	-10.501	18.960	0,02	0,000	
18	991	0	0	0,35	-14.557	18.960	0,02	0,000	
19	928	0	0	0,35	-18.691	18.960	0,02	0,000	
20	847	0	0	0,35	-22.928	18.960	0,02	0,000	
21	749	0	0	0,35	-27.303	18.960	0,02	0,000	
22	629	0	0	0,35	-31.860	18.960	0,02	0,000	
23	485	0	0	0,35	-36.656	18.960	0,02	0,000	
24	313	0	0	0,35	-41.776	18.960	0,02	0,000	
25	105	0	0	-3,90 - 0,35	-46.470	18.960	0,02	0,000	

Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	204	0	0	5,67 - 0,43	53.452	18.710	0,01	0,000	
2	580	0	0	0,43	48.873	18.710	0,01	0,000	
3	899	0	0	0,43	43.987	18.710	0,01	0,000	
4	1169	96	0	0,43	39.479	18.710	0,01	0,000	
5	1406	861	0	0,43	35.248	23.240	0,03	0,000	
6	1705	861	0	0,43	31.229	23.240	0,03	0,000	
7	1895	861	0	0,43	27.376	23.240	0,03	0,000	
8	2047	861	0	0,43	23.652	23.240	0,03	0,000	
9	2175	861	0	0,43	20.033	23.240	0,03	0,000	
10	2280	861	0	0,43	16.495	23.240	0,03	0,000	
11	2364	740	0	0,43	13.022	23.240	0,03	0,000	
12	2428	0	0	0,43	9.596	23.240	0,03	0,000	
13	2472	0	0	0,43	6.205	23.240	0,03	0,000	
14	3064	0	0	0,43	2.836	23.240	0,03	0,000	
15	1321	0	0	0,43	-0.523	23.240	0,03	0,000	
16	1214	0	0	0,43	-3.885	23.240	0,03	0,000	
17	1132	0	0	0,43	-7.259	23.240	0,03	0,000	
18	1082	0	0	0,43	-10.660	23.240	0,03	0,000	
19	1012	0	0	0,43	-14.099	23.240	0,03	0,000	
20	921	0	0	0,43	-17.591	23.240	0,03	0,000	
21	809	0	0	0,43	-21.152	23.240	0,03	0,000	
22	674	0	0	0,43	-24.801	23.240	0,03	0,000	
23	513	0	0	0,43	-28.561	23.240	0,03	0,000	
24	325	0	0	0,43	-32.462	23.240	0,03	0,000	
25	107	0	0	-5,09 - 0,43	-35.572	23.240	0,03	0,000	

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	204	0	0	5,67 - 0,43	53.452	18.710	0,01	0,000	
2	580	0	0	0,43	48.873	18.710	0,01	0,000	
3	899	0	0	0,43	43.987	18.710	0,01	0,000	
4	1169	96	0	0,43	39.479	18.710	0,01	0,000	
5	1406	861	0	0,43	35.248	23.240	0,03	0,000	
6	1705	861	0	0,43	31.229	23.240	0,03	0,000	
7	1895	861	0	0,43	27.376	23.240	0,03	0,000	
8	2047	861	0	0,43	23.652	23.240	0,03	0,000	
9	2175	861	0	0,43	20.033	23.240	0,03	0,000	
10	2280	861	0	0,43	16.495	23.240	0,03	0,000	
11	2364	740	0	0,43	13.022	23.240	0,03	0,000	
12	2428	0	0	0,43	9.596	23.240	0,03	0,000	
13	2472	0	0	0,43	6.205	23.240	0,03	0,000	
14	3064	0	0	0,43	2.836	23.240	0,03	0,000	
15	1321	0	0	0,43	-0.523	23.240	0,03	0,000	
16	1214	0	0	0,43	-3.885	23.240	0,03	0,000	
17	1132	0	0	0,43	-7.259	23.240	0,03	0,000	
18	1082	0	0	0,43	-10.660	23.240	0,03	0,000	
19	1012	0	0	0,43	-14.099	23.240	0,03	0,000	
20	921	0	0	0,43	-17.591	23.240	0,03	0,000	
21	809	0	0	0,43	-21.152	23.240	0,03	0,000	
22	674	0	0	0,43	-24.801	23.240	0,03	0,000	
23	513	0	0	0,43	-28.561	23.240	0,03	0,000	
24	325	0	0	0,43	-32.462	23.240	0,03	0,000	
25	107	0	0	-5,09 - 0,43	-35.572	23.240	0,03	0,000	

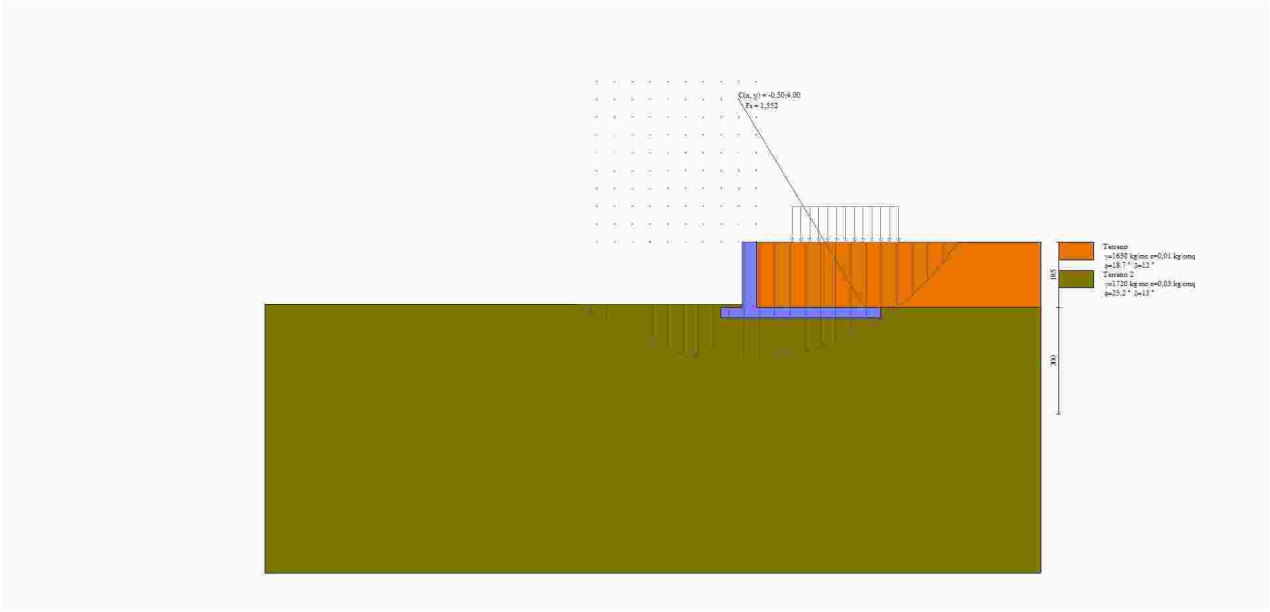


Fig. 2 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 6)

MURI D'ALA TOMBINO N°2

Relazione geotecnica

Dati

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata
(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n° numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X	Y	A
	[m]	*[m]*	*[°]*
1	0,00	0,00	0.000
2	8,00	0,00	0.000

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.000 [°]

Descrizione terreni

Parametri di resistenza

Simbologia adottata
n° Indice del terreno
Descr Descrizione terreno
γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c Coesione espressa in [kg/cmq]
c_a Adesione terra-muro espressa in [kg/cmq]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix
Cesp Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
τ_l Tensione tangenziale limite, espressa in [kg/cmq]

n°	Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca	Cesp	τ_l	
		[kg/mc]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*		*[kg/cmq]*	
1	Terreno	1630,00	1920,00	25.000	16.670	0,01	0,01	---	---	
2	Terreno 2	1630,00	1920,00	25.000	16.670	0,01	0,01	---	---	

Stratigrafia

Simbologia adottata
n° Indice dello strato
H Spessore dello strato espresso in [m]
α Inclinazione espressa in [°]
Terreno Terreno dello strato
Kwn, Kwt Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm^2/cm
Per calcolo pali (solo se presenti)
Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
Ks Coefficiente di spinta
Cesp Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

Per calcolo della spinta con coeff. di spinta definiti (usati solo se attiva l'opzione 'Usa coeff. di spinta da strato')
Kst_{sta}, Kst_{sis} Coeff. di spinta statico e sismico

n°	H	α	Terreno	Kwn	Kwt	Kw	Ks	Cesp	Kst_{sta}	Kst_{sis}
	[m]	*[°]*		*[Kg/cm^3]*	*[Kg/cm^3]*	*[Kg/cm^3]*				
1	1,85	0.000	Terreno	0.000	0.000	---	---	---	---	---
2	3,00	0.000	Terreno 2	5.000	5.000	---	---	---	---	---

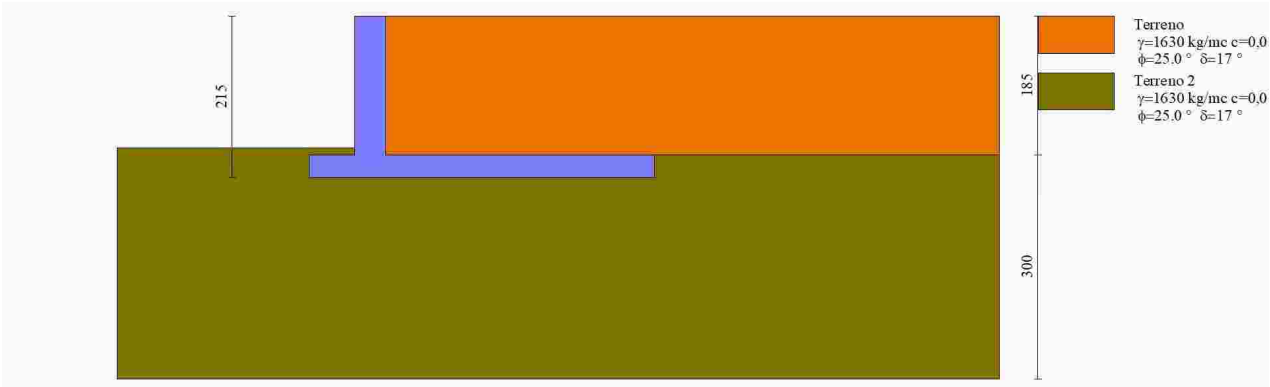


Fig. 1 - Stratigrafia

Risultati

Verifiche geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
S	Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)
FS_{SCO}	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
FS_{RIB}	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
FS_{QLIM}	Coeff. di sicurezza a carico limite
FS_{STAB}	Coeff. di sicurezza a stabilità globale
FS_{HYD}	Coeff. di sicurezza a sifonamento
FS_{UPL}	Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS_{SCO}	FS_{RIB}	FS_{QLIM}	FS_{STAB}	FS_{HYD}	FS_{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)		3.200		3.215			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.371		2.113			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.255		2.261			
4 - GEO (A2-M2-R2)					1.715		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.557		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.490		
7 - EQU (A1-M1-R3)			24.092				
8 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		8.571				
9 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		4.375				

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Rsa	Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kg]
Rpt	Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kg]
Rps	Resistenza passiva sperone, espresso in [kg]
Rp	Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kg]
Rt	Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kg]
R	Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kg]
T	Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	Rsa	Rpt	Rps	Rp	Rt	R	T	FS
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
1 - STR (A1-M1-R3)	7403	0	0	--	--	7403	2314	3.200
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	7093	0	0	--	--	7093	5173	1.371
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	6163	0	0	--	--	6163	4912	1.255

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
N	Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kg]
Qu	carico limite del terreno, espresso in [kg]
Qd	Portanza di progetto, espresso in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limie e carico agente al piano di posa)

n°	N	Qu	Qd	FS
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	
1 - STR (A1-M1-R3)	23972	77080	55057	3.215
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	22935	48459	40382	2.113
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	19831	44844	37370	2.261

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, N_γ	Fattori di capacità portante
ic, iq, i_γ	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, d_γ	Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, g_γ	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, b_γ	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, s_γ	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, p_γ	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
Re	Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof
Ir, Irc	Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic
r_γ	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B\gamma N_\gamma$ viene moltiplicato per questo fattore
D	Affondamento del piano di posa, espresso in [m]
B'	Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]
H	Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]
γ	Peso di volume del terreno medio, espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c	Coesione del terreno medio, espresso in [kg/cmq]

Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).

n°	Nc Nq Nγ	ic iq iγ	dc dq dγ	gc gq gγ	bc bq bγ	sc sq sγ	pc pq pγ	Ir	Irc	Re	rγ
1	20.721 10.662 6.766	0.881 0.881 0.608	1.028 1.014 1.014	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.778	0.912
2	20.721 10.662 6.766	0.738 0.738 0.242	1.028 1.014 1.014	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.874	0.912
3	20.721 10.662 6.766	0.715 0.715 0.197	1.028 1.014 1.014	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	--	--	0.900	0.912

n°	D *[m]*	B' *[m]*	H *[m]*	γ *[°]*	ϕ *[kg/mc]*	c *[kg/cmq]*
1	0,40	4,50	3,53	1630	25.00	0,01
2	0,40	4,50	3,53	1630	25.00	0,01
3	0,40	4,50	3,53	1630	25.00	0,01

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n° Indice combinazione
Ms Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
Mr Momento ribaltante, espresso in [kgm]
FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)
La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms *[kgm]*	Mr *[kgm]*	FS
7 - EQU (A1-M1-R3)	61841	2567	24.092
8 - EQU (A1-M1-R3) H + V	60819	7096	8.571
9 - EQU (A1-M1-R3) H - V	54664	12496	4.375

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic Indice/Tipo combinazione
C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R Raggio, espresso in [m]
FS Fattore di sicurezza

Ic	C *[m]*	R *[m]*	FS
4 - GEO (A2-M2-R2)	0,00; 1,50	5,07	1.715
5 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-0,50; 4,50	7,77	1.557
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-0,50; 4,50	7,77	1.490

Dettagli strisce verifiche stabilità

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)
W peso della striscia espresso in [kg]
Qy carico sulla striscia espresso in [kg]
Qf carico acqua sulla striscia espresso in [kg]
α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
Tx; Ty Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kg/cmq]

Combinazione n° 4 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W *[kg]*	Qy *[kg]*	Qf *[kg]*	b *[m]*	α *[°]*	ϕ *[°]*	c *[kg/cmq]*	u *[kg/cmq]*	Tx; Ty *[kg]*
1	236	0	0	4,85 - 0,35	67.096	20.458	0,01	0,000	
2	637	0	0	0,35	58.822	20.458	0,01	0,000	
3	929	518	0	0,35	51.798	20.458	0,01	0,000	
4	1171	910	0	0,35	45.761	20.458	0,01	0,000	
5	1437	910	0	0,35	40.328	20.458	0,01	0,000	
6	1592	910	0	0,35	35.308	20.458	0,01	0,000	
7	1722	910	0	0,35	30.584	20.458	0,01	0,000	
8	1829	910	0	0,35	26.083	20.458	0,01	0,000	
9	1918	910	0	0,35	21.749	20.458	0,01	0,000	
10	1989	910	0	0,35	17.544	20.458	0,01	0,000	
11	2045	910	0	0,35	13.434	20.458	0,01	0,000	
12	2085	4	0	0,35	9.394	20.458	0,01	0,000	
13	2111	0	0	0,35	5.401	20.458	0,01	0,000	
14	2032	0	0	0,35	1.435	20.458	0,01	0,000	
15	2684	0	0	0,35	-2.525	20.458	0,01	0,000	
16	1116	0	0	0,35	-6.497	20.458	0,01	0,000	

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
17	1052	0	0	0,35	-10.501	20.458	0,01	0,000	
18	942	0	0	0,35	-14.557	20.458	0,01	0,000	
19	882	0	0	0,35	-18.691	20.458	0,01	0,000	
20	806	0	0	0,35	-22.928	20.458	0,01	0,000	
21	712	0	0	0,35	-27.303	20.458	0,01	0,000	
22	599	0	0	0,35	-31.860	20.458	0,01	0,000	
23	463	0	0	0,35	-36.656	20.458	0,01	0,000	
24	299	0	0	0,35	-41.776	20.458	0,01	0,000	
25	102	0	0	-3,90 - 0,35	-46.470	20.458	0,01	0,000	

Combinazione n° 5 - GEO (A2-M2-R2) H + V

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	196	0	0	5,85 - 0,44	51.262	25.000	0,01	0,000	
2	561	0	0	0,44	47.112	25.000	0,01	0,000	
3	874	0	0	0,44	42.535	25.000	0,01	0,000	
4	1142	0	0	0,44	38.275	25.000	0,01	0,000	
5	1373	697	0	0,44	34.254	25.000	0,01	0,000	
6	1648	878	0	0,44	30.417	25.000	0,01	0,000	
7	1859	878	0	0,44	26.727	25.000	0,01	0,000	
8	2005	878	0	0,44	23.153	25.000	0,01	0,000	
9	2128	878	0	0,44	19.673	25.000	0,01	0,000	
10	2230	878	0	0,44	16.267	25.000	0,01	0,000	
11	2312	878	0	0,44	12.919	25.000	0,01	0,000	
12	2375	34	0	0,44	9.616	25.000	0,01	0,000	
13	2419	0	0	0,44	6.344	25.000	0,01	0,000	
14	2928	0	0	0,44	3.094	25.000	0,01	0,000	
15	1370	0	0	0,44	-0.147	25.000	0,01	0,000	
16	1144	0	0	0,44	-3.388	25.000	0,01	0,000	
17	1049	0	0	0,44	-6.640	25.000	0,01	0,000	
18	1003	0	0	0,44	-9.913	25.000	0,01	0,000	
19	938	0	0	0,44	-13.220	25.000	0,01	0,000	
20	855	0	0	0,44	-16.572	25.000	0,01	0,000	
21	751	0	0	0,44	-19.984	25.000	0,01	0,000	
22	626	0	0	0,44	-23.472	25.000	0,01	0,000	
23	477	0	0	0,44	-27.056	25.000	0,01	0,000	
24	303	0	0	0,44	-30.758	25.000	0,01	0,000	
25	101	0	0	-5,13 - 0,44	-33.719	25.000	0,01	0,000	

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2) H - V

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kg]	*[kg]*	*[kg]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[kg]*
1	196	0	0	5,85 - 0,44	51.262	25.000	0,01	0,000	
2	561	0	0	0,44	47.112	25.000	0,01	0,000	
3	874	0	0	0,44	42.535	25.000	0,01	0,000	
4	1142	0	0	0,44	38.275	25.000	0,01	0,000	
5	1373	697	0	0,44	34.254	25.000	0,01	0,000	
6	1648	878	0	0,44	30.417	25.000	0,01	0,000	
7	1859	878	0	0,44	26.727	25.000	0,01	0,000	
8	2005	878	0	0,44	23.153	25.000	0,01	0,000	
9	2128	878	0	0,44	19.673	25.000	0,01	0,000	
10	2230	878	0	0,44	16.267	25.000	0,01	0,000	
11	2312	878	0	0,44	12.919	25.000	0,01	0,000	
12	2375	34	0	0,44	9.616	25.000	0,01	0,000	
13	2419	0	0	0,44	6.344	25.000	0,01	0,000	
14	2928	0	0	0,44	3.094	25.000	0,01	0,000	
15	1370	0	0	0,44	-0.147	25.000	0,01	0,000	
16	1144	0	0	0,44	-3.388	25.000	0,01	0,000	
17	1049	0	0	0,44	-6.640	25.000	0,01	0,000	
18	1003	0	0	0,44	-9.913	25.000	0,01	0,000	
19	938	0	0	0,44	-13.220	25.000	0,01	0,000	
20	855	0	0	0,44	-16.572	25.000	0,01	0,000	
21	751	0	0	0,44	-19.984	25.000	0,01	0,000	
22	626	0	0	0,44	-23.472	25.000	0,01	0,000	
23	477	0	0	0,44	-27.056	25.000	0,01	0,000	
24	303	0	0	0,44	-30.758	25.000	0,01	0,000	
25	101	0	0	-5,13 - 0,44	-33.719	25.000	0,01	0,000	

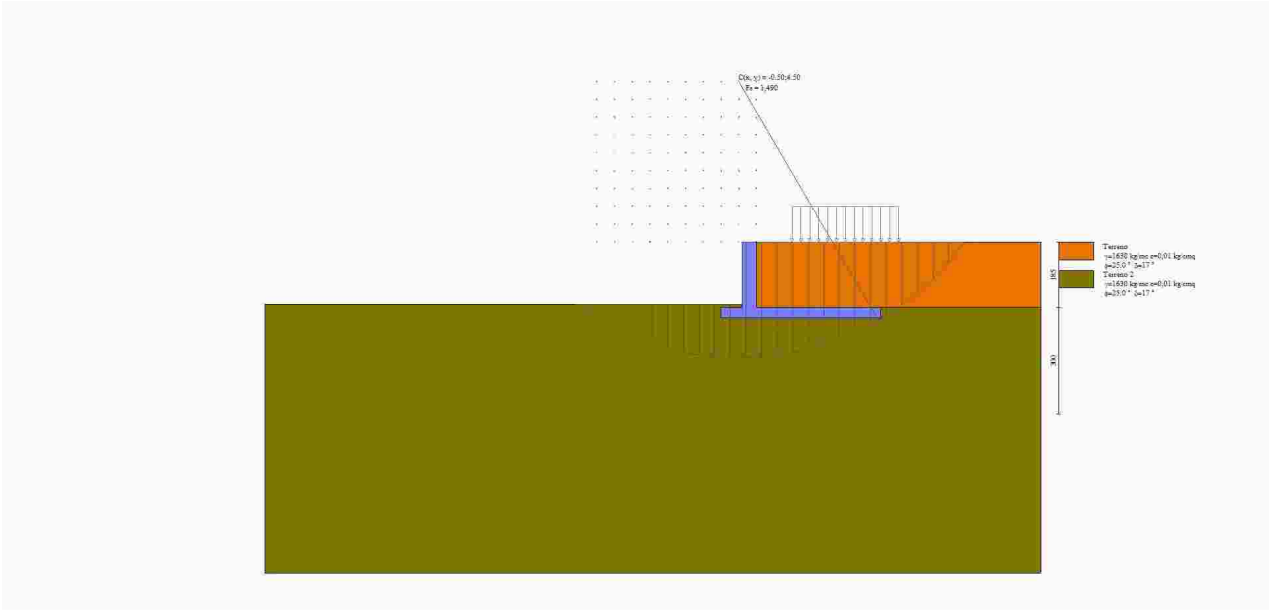


Fig. 2 - Stabilità fronte di scavo - Cerchio critico (Combinazione n° 6)

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo
Il sottoscritto , in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta
L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.
La struttura viene discretizzata in elementi tipo trave. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione e di rinfianco vengono inserite delle molle alla Winkler non reagenti a trazione
L'analisi che viene effettuata è un'analisi al passo per tener conto delle molle che devono essere eliminate (molle in trazione). L'analisi fornisce i risultati in termini di spostamenti. Dagli spostamenti si risale alle sollecitazioni nodali ed alle pressioni sul terreno.
Il calcolo degli scatolari viene eseguito secondo le seguenti fasi:
- Calcolo delle pressioni in calotta (per gli scatolari ricoperti da terreno);
- Calcolo della spinta del terreno;
- Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali (fondazione, piedritti e traverso);
- Progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.
La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	SCAT - Analisi Strutture Scatolari
Versione	14.0
Titolo	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	16.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	ETA Consult S.r.l.
Licenza	AIU5110ZX

Affidabilità dei codici di calcolo
Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati
La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione
Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati
I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.
In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

_____

Il progettista
(Ing. Giuseppe Pace)

_____