



CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA
DIREZIONE TERRITORIO E MOBILITA'
Servizio Programmazione e Coordinamento Viabilità
Ufficio Lavori Pubblici

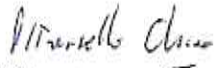
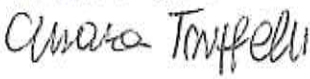
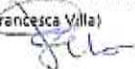
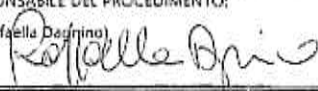
C.C. 04/22_RL

OGGETTO:

SP dell'Ufficio Viabilità ponente - Lavori di consolidamento e messa in sicurezza della carreggiata stradale mediante consolidamento del ciglio di valle prevedendo la realizzazione di strutture di sostegno in c.a. e fondazioni speciali sulla SP 51 di Livellato

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO

REDATTO DA: Geom. Alessandro Travassone 	PROGETTISTI: Ing. Chiara Pitruzzelli  Arch. Chiara Truffelli 	ALLEGATO 3	
ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE (in caso di professionista esterno)	IL RESPONSABILE D'UFFICIO: (Ing. Francesca Villa) 	TAVOLA N°	
	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: (Ing. Raffaella Degnino) 	DATA 12/2/24	
CONTROLLATO	DATA	AGGIORNATO	DATA
APPROVATO	DATA	AGGIORNATO	DATA

RELAZIONE DI CALCOLO

Indice

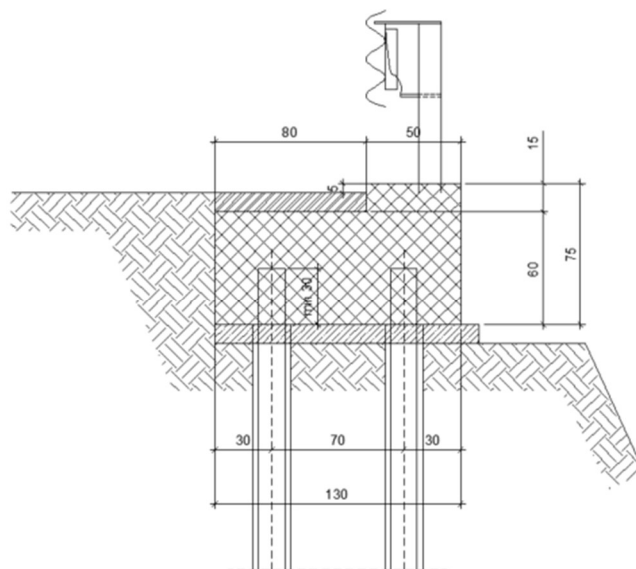
1	Relazione illustrativa	3
2	Normativa di riferimento	4
2.1	Analisi e verifica delle opere.....	4
2.1.1	Spinta del terreno	4
2.1.2	Verifica a scorrimento.....	6
2.1.3	Verifica al carico limite	6
2.1.4	Verifica a ribaltamento	7
2.1.5	Verifica alla stabilità globale	8
2.1.6	Analisi dei pali	8
3	Relazione illustrativa sui materiali.....	10
4	Terreno e stratigrafia.....	11
5	Analisi dei carichi	11
5.1	Carichi permanenti	12
5.2	Carichi permanenti portati compiutamente definiti (G2):	12
5.3	Carichi variabili.....	12
5.4	Azione sismica	14
5.5	Spinta del terreno	14
6	Combinazioni di carico.....	14
6.1	Cordolo su pali	14
6.2	Cordolo semplice	15
7	Verifica della struttura	17
7.1	Risultati verifiche geotecniche	17
7.1.1	Cordolo su pali.....	17
7.1.2	Cordolo semplice	20
7.2	Verifiche strutturali	23
7.2.1	Cordolo su pali.....	23
7.2.2	Cordolo semplice	33
8	Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018.....	34
	ALLEGATO 1 - RELAZIONE SUI MATERIALI	36
1.	Calcestruzzo armato.....	36

8.1	Componenti del calcestruzzo e loro modalità di posa	36
8.2	Durabilità: classe di esposizione e copriferro.....	36
9	Acciaio per cemento armato	38
9.1	Acciaio in barre B450C.....	38
10	Acciaio per armatura tubolari	38
11	Malta per iniezioni pali.....	39
12	Valori di calcolo	39
ALLEGATO 2 - RELAZIONE SUI DISPOSITIVI DI RITENUTA		40
1. Premesse		40
2. Valutazioni statiche		41

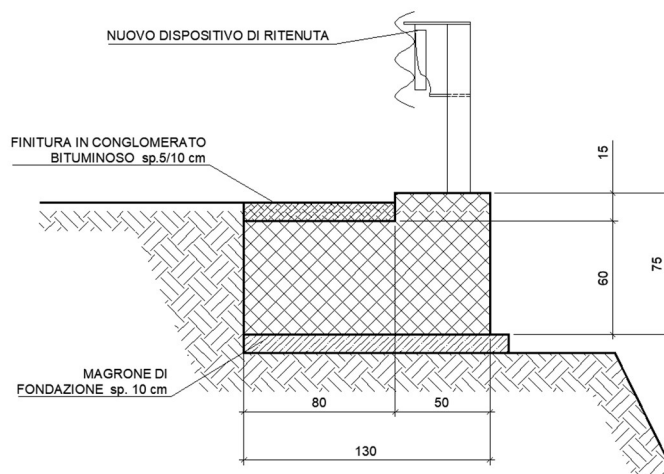
1 Relazione illustrativa

Gli interventi a progetto prevedono interventi di miglioramento delle condizioni di sicurezza dell'infrastruttura stradale mediante consolidamenti localizzati dei cigli e delle scarpate stradali lungo la SP51 di Livellato (km 5+400). Si riportano di seguito le sezioni tipologiche delle strutture a progetto:

Cordolo su pali



Cordolo semplice



La struttura a progetto è stata studiata come opera di sostegno, per cui sono state seguite le seguenti fasi:

- Calcolo dei parametri sismici
- Calcolo della spinta del terreno
- Calcolo del carico limite del terreno di fondazione
- Calcolo delle azioni agenti sulla struttura
- Analisi delle diverse combinazioni di calcolo
- Verifica a ribaltamento

- Verifica a scorrimento dell'opera di sostegno sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della sezione in c.a.

2 Normativa 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 stabilità dei 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 C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018

2.1 Analisi e verifica delle opere

Si riportano di seguito le modalità di analisi e le verifiche eseguite sulle opere a progetto, eseguite in accordo con le normative vigenti.

2.1.1 Spinta del terreno

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali γ . In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e incrementati i soli carichi variabili.

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann,

nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

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

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta \quad \beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ 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

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

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

2.1.2 Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il cordolo deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \tan \delta_f + c_a B_f$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del cordolo. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

2.1.3 Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal cordolo 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:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c + q N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

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
N	fattori di capacità portante
d	fattori di profondità del piano di posa
i	fattori di inclinazione del carico

Fattori di capacità portante		$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$	$N_q = e^{\pi \tan \varphi} K_p$	$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\varphi)$
Fattori di forma	$\varphi = 0$	$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B'}{L'}$	$s_q = 1$	$s_\gamma = 1$
	$\varphi > 0$	$s_c = 1 + 0.2 K_p \frac{B'}{L'}$	$s_q = 1 + 0.1 K_p \frac{B'}{L'}$	$s_\gamma = 1 + 0.1 K_p \frac{B'}{L'}$
Fattori di profondità	$\varphi = 0$	$d_c = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$	$d_q = 1$	$d_\gamma = 1$
	$\varphi > 0$	$d_c = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$	$d_q = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$	$d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$
Fattori di inclinazione del carico	$\varphi = 0$	$i_c = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_\gamma = 0$
	$\varphi > 0$	$i_c = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\varphi^\circ}\right)^2$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Riduzione per eccentricità del carico

Nel caso in cui il carico al piano di posa della fondazione risulta eccentrico, Meyerhof propone di moltiplicare la capacità portante ultima per un fattore correttivo R_e

$R_e = 1.0 - 2.0 \frac{e}{B}$	per terreni coesivi
$R_e = 1.0 - \sqrt{\frac{e}{B}}$	per terreni incoerenti

con e eccentricità del carico e B la dimensione minore della fondazione.

2.1.4 Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare la struttura (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il cordolo (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r .

Deve quindi essere verificata la seguente disuguaglianza:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso della struttura (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il cordolo che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli).

2.1.5 Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso struttura+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del cordolo. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del cordolo. Il numero di strisce è pari a 25.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^n \left[\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i}{m} \right]}{\sum_{i=0}^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\tan \varphi_i \tan \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e φ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

2.1.6 Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito ϕ e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo solitamente viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_t = Q_p + Q_l - W_p$$

dove:

Q_T	portanza totale del palo
Q_P	portanza di base del palo
Q_L	portanza per attrito laterale del palo
W_P	peso proprio del palo

e le due componenti Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

$$Q_d = \frac{Q_p}{\eta_p} + \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

Palo teso:

$$Q_d = \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p \left(cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2} B\gamma N'_\gamma \right)$$

dove:

A_p è l'area portante efficace della punta del palo

c è la coesione

q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo

γ è il peso specifico del terreno

D è il diametro del palo

N'_c N'_q N'_γ sono i coefficienti di capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità.

Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_l = \int_S \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \tan \delta$$

dove:

c_a è l'adesione palo-terreno

δ è l'angolo di attrito palo-terreno

γ è il peso specifico del terreno

z è la generica quota a partire dalla testa del palo

L è la lunghezza del palo

P è il perimetro del palo

K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di adensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

Portanza trasversale dei pali - Analisi ad elementi finiti

Nel modello di terreno alla Winkler il terreno viene schematizzato come una serie di molle elastiche indipendenti fra di loro. Le molle che schematizzano il terreno vengono caratterizzate tramite una costante elastica K espressa in Kg/cm²/cm che rappresenta la pressione (in Kg/cm²) che bisogna applicare per ottenere l'abbassamento di 1 cm.

Nel metodo degli elementi finiti occorre discretizzare il particolare problema. Nel caso specifico il palo viene suddiviso in un certo numero di elementi di eguale lunghezza. Ogni elemento è caratterizzato da una sezione avente area ed inerzia coincidente con quella del palo.

Il terreno viene schematizzato come una serie di molle orizzontali che reagiscono agli spostamenti nei due versi. La rigidezza assiale della singola molla è proporzionale alla costante di Winkler orizzontale del terreno, al diametro del palo ed alla lunghezza dell'elemento. La molla, però, non viene vista come un elemento infinitamente elastico ma come un elemento con comportamento del tipo elastoplastico perfetto (diagramma sforzi-deformazioni di tipo bilatero). Essa presenta una resistenza crescente al crescere degli spostamenti fino a che l'entità degli spostamenti si mantiene al di sotto di un certo spostamento limite, X_{max} oppure fino a quando non si raggiunge il valore della pressione limite. Superato tale limite non si ha un incremento di resistenza. È evidente che assumendo un comportamento di questo tipo ci si addentra in un tipico problema non lineare che può essere risolto solo mediante una analisi al passo.

Questa modellazione presenta il notevole vantaggio di poter schematizzare tutti quei comportamenti individuati da Broms e che sarebbe impossibile trattare in un modello numerico. In particolare risulta automatico analizzare casi in cui si ha insufficiente portanza non per rottura del palo ma per rottura del terreno (vedi il caso di un palo molto rigido in un terreno molle).

Determinazione degli scarichi sul palo.

Gli scarichi sui pali vengono determinati mediante il metodo delle rigidezze.

La piastra di fondazione viene considerata infinitamente rigida (3 gradi di libertà) ed i pali vengono considerati incastrati o incernierati (la scelta del vincolo viene fatta dall'Utente nella tabella CARATTERISTICHE del sottomenu PALI) a tale piastra.

Viene effettuata una prima analisi di ogni palo di ciascuna fila (i pali di ogni fila hanno le stesse caratteristiche) per costruire una curva carichi-spostamenti del palo. Questa curva viene costruita considerando il palo elastico. Si tratta, in definitiva, della matrice di rigidezza del palo K_e , costruita imponendo traslazioni e rotazioni unitarie per determinare le corrispondenti sollecitazioni in testa al palo.

Nota la matrice di rigidezza di ogni palo si assembla la matrice globale (di dimensioni 3×3) della palificata, K .

A questo punto, note le forze agenti in fondazione (N, T, M) si possono ricavare gli spostamenti della piastra (abbassamento, traslazione e rotazione) e le forze che si scaricano su ciascun palo. Infatti indicando con p il vettore dei carichi e con u il vettore degli spostamenti della piastra abbiamo:

$$u = K^{-1}p$$

Noti gli spostamenti della piastra, e quindi della testa dei pali, abbiamo gli scarichi su ciascun palo. Allora per ciascun palo viene effettuata un'analisi elastoplastica incrementale (tramite il metodo degli elementi finiti) che, tenendo conto della plasticizzazione del terreno, calcola le sollecitazioni in tutte le sezioni del palo.

Se, le caratteristiche del terreno (rappresentate da K_h) sono tali che se non è possibile raggiungere l'equilibrio si ha collasso per 'rottura' del terreno.

3 Relazione illustrativa sui materiali

Per la realizzazione dell'opera in esame si impiegheranno calcestruzzo e acciaio in accordo con quanto indicato nelle NTC2018.

Calcestruzzo armato

Si prevede l'impiego di calcestruzzo C25/30, le cui caratteristiche sono di seguito riportate:

Calcestruzzo		C25/30	
Res. Caratteristica cilindrica	f_{ck}	25	N/mm ²
Res. Caratteristica cubica	R_{ck}	30	N/mm ²
Coeff. Riduttivo per resistenze lunga durata	α_{cc}	0,85	-
Coeff. Parziale di sicurezza cls	γ_c	1,50	-
Res. Cilindrica di progetto	f_{cd}	14,17	N/mm ²
Res. Media cilindrica	f_{cm}	33,00	N/mm ²
Modulo elastico istantaneo	E_c	31.476	N/mm ²

Classe di esposizione XC2 UNI EN 206-1 e classe di consistenza S4.

Acciaia in barre

Per le armature si prevede l'impiego di un acciaio in barre del tipo B450C, come definito nelle NTC2018, le cui caratteristiche sono di seguito riportate:

Acciaio		B450C	
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540	N/mm ²
Coeff. Parziale di sicurezza acciaio	γ_s	1,15	-
Tensione di snervamento di progetto	f_{yd}	391,30	N/mm ²
Modulo elastico	E_s	210.000	N/mm ²

Acciaio per armatura micropali

Si prevede l'impiego di armatura in acciaio S355 le cui caratteristiche sono di seguito riportate:

Acciaio		S355	
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	355	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	510	N/mm ²
Coeff. Parziale di sicurezza acciaio	γ_s	1,05	-
Tensione di snervamento di progetto	f_{yd}	338,10	N/mm ²
Modulo elastico	E_s	210.000	N/mm ²

4 Terreno e stratigrafia

Sulla base di quanto indicato nella relazione geologica è stata considerata la stratigrafia di seguito riportata:

Coltre:

$$\gamma = 22,9 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 32^\circ$$

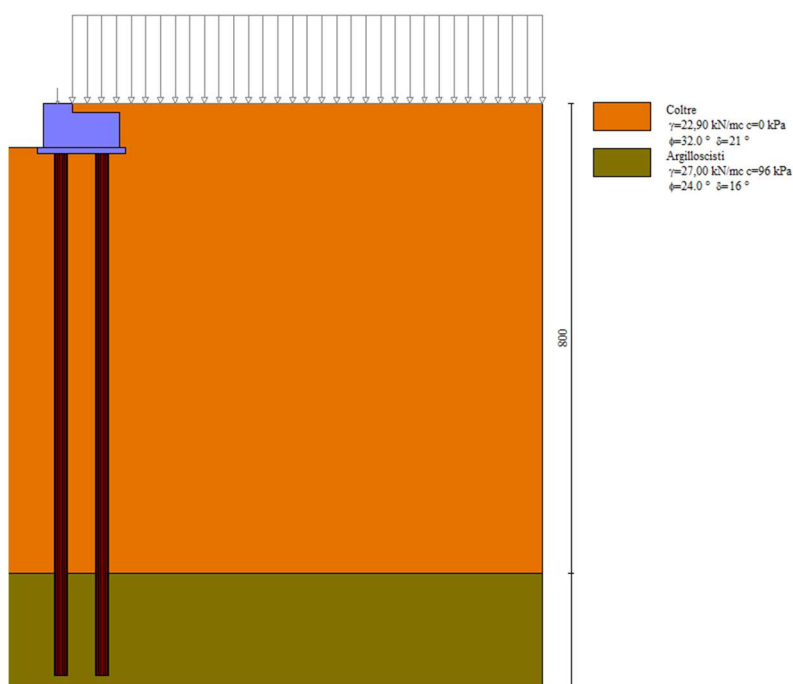
$$c' = 0 \text{ kPa}$$

Argilliti:

$$\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 24^\circ$$

$$c' = 96 \text{ kPa}$$

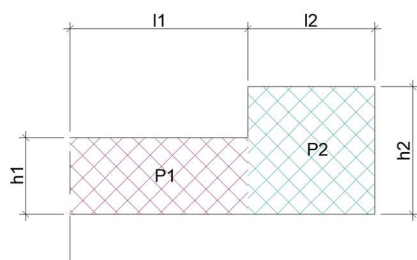


5 Analisi dei carichi

Si riportano di seguito i carichi considerati nella progettazione della struttura.

Si pone in evidenza che per il cordolo su pali la porzione a sbalzo non è stata modellata tramite il software, ma sono state poste in input, come carichi concentrati, le azioni derivanti dallo sbalzo.

È stata considerata la seguente geometria:



$$l_1 = 0,00 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,00 \text{ m}$$

$$l_2 = 0,50 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,70 \text{ m}$$

5.1 Carichi permanenti

Di seguito vengono definiti i principali carichi permanenti, nei capitoli a seguire per ogni elemento strutturale oggetto di verifica saranno dettagliati i carichi permanenti strutturali e permanenti non strutturali.

Carichi permanenti strutturali (G1)

Peso proprio della struttura (G1) (ρ_{cls} : 25 kN/mc):

computato da software di calcolo

Spinta del terreno:

computata dal software di calcolo

Cordolo su pali: è stato posto in input il peso e il momento corrispondente della porzione a sbalzo (come da geometria sopra riportata):

$$P_{sbalzo} = P_2 = \rho l_2 h_2 = 25 \cdot 0,50 \cdot 0,70 = 8,75 \text{ kN/m}$$

$$M_{sbalzo} = P_2 b_2 = 8,75 \cdot \left(\frac{0,50}{2}\right) = 2,19 \text{ kNm/m}$$

5.2 Carichi permanenti portati compiutamente definiti (G2):

Barriera di sicurezza:

0,35 kN/m

Solo per il cordolo su pali è stato posto in input il peso e il momento parassita dovuto allo sbalzo:

$$P_{barr} = 0,35 \text{ kN/m}$$

$$M_{barr} = P_{barr} \cdot \left(\frac{l_2}{2}\right) = 0,35 \cdot \left(\frac{0,50}{2}\right) = 0,09 \text{ kNm/m}$$

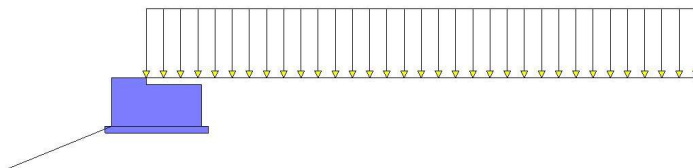
5.3 Carichi variabili

Sono state prese in considerazione due condizioni di carico:

Condizione 1- Carico uniformemente distribuito

Si considera un carico da traffico distribuito uniformemente sul terreno a tergo del cordolo, in assenza di urto:

$$q_1 = 20 \text{ kN/m}^2$$



Tipologia carico considerata: accidentale.

Condizione 2 – Urto

Si considera l'azione derivante dall'urto di un mezzo di massa pari a 30 ton che impatta sulla barriera di protezione alla velocità di 35 km/h, con un angolo di incidenza pari a 20° e nell'ipotesi che la barriera sia indeformabile; la forza dell'urto è valutabile secondo la formula sotto riportata:

$$F = \frac{(\pi^2)}{4} \cdot \frac{M \cdot (v \cdot \sin \alpha)^2}{2 \cdot [c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + S b]}$$

$$F = 155,66 \text{ kN}$$

Si considera l'azione agente sul sistema rigido barriera+cordolo di lunghezza pari a 13 m, per cui per ogni metro lineare di struttura, ipotizzando che l'azione dell'urto sia posta ad un'altezza pari a 0,50 m dal piano viario, si avranno le seguenti sollecitazioni:

$$F_{urto} = 11,97 \text{ kN/m}$$

$$M_{urto} = 5,99 \text{ kNm/m}$$

In questa condizione di carico si considera la presenza di un carico derivante dallo schema di carico 2 (un asse pari a 400 kN), ipotizzata distribuita per una lunghezza pari a 13 m, posto una distanza di 0,30 m dalla testa del cordolo:

$$F_{sc2} = \frac{400}{13} = 30,76 \text{ kN/m}$$



Si pone in evidenza che l'azione dell'urto è studiata come azione eccezionale.

Per il cordolo su pali è stato considerato inoltre il momento parassita dovuto alla presenza della barriera sullo sbalzo, per cui si avrà:

$$F_{Hurto} = 11,97 \text{ kN/m}$$

$$M_{urtotot} = M_{urto} + F_{Hurto} \left(\frac{l_2}{2} \right) = 5,99 + 11,97 \cdot \left(\frac{0,50}{2} \right) = 8,98 \text{ kNm/m}$$

5.4 Azione sismica

Si riportano di seguito i parametri sismici impiegati:

Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	II
Tipo costruzione	Normali affollamenti
Vita di riferimento	50 anni

	Simbolo	U.M.		SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]		0.772	0.307
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]		0.079	0.031
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0			2.500	2.517
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*			0.279	0.210
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200	

Stato limite ...	Coeff. di riduzione β_m	kh [%]	kv [%]
Ultimo	1.000	11.334	5.667
Ultimo - Ribaltamento	1.000	11.334	5.667
Esercizio	1.000	4.504	2.252

Forma diagramma incremento sismico **Rettangolare**

5.5 Spinta del terreno

La spinta del terreno è valutata in automatico dal software, secondo quanto indicato nei paragrafi precedenti.

6 Combinazioni di carico

In accordo con quanto indicato dalla NTC2018 sono state studiate le combinazioni di carico, di seguito riportate.

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} Q_{k2} + \gamma_{Q3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali Ad:

$$G_1 + G_2 + A_d + \Psi_{2,1} Q_{k1} + \Psi_{2,2} Q_{k2} + \Psi_{2,3} Q_{k3} + \dots$$

I valori dei coeff. $\Psi_{0,j}$, $\Psi_{1,j}$, $\Psi_{2,j}$ sono definiti nelle singole condizioni variabili.

I valori dei coeff. γ_G e γ_Q , sono definiti nella tabella normativa.

6.1 Cordolo su pali

Simbologia adottata

γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.30	--	Sfavorevole
Traffico	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - ECC

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole

6.2 Cordolo semplice

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione
 Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.30	--	Sfavorevole
Traffico	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.50	--	Sfavorevole
Traffico	1.50	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - EQU (A1-M1-R3) H + V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - EQU (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Traffico	1.00	0.60	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - ECC

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
PP Barriera	1.00	--	Sfavorevole
Urto	1.00	1.00	Sfavorevole

7 Verifica della struttura

Si riportano di seguito le verifiche eseguite sulle opere a progetto.

7.1 Risultati verifiche geotecniche

Si riportano di seguito i coefficienti di sicurezza ottenuti.

7.1.1 Cordolo su pali

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)		2.926					
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	2.408					
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	2.522					
4 - STR (A1-M1-R3)		2.926					
5 - STR (A1-M1-R3)		2.926					
6 - STR (A1-M1-R3)		2.926					
7 - GEO (A2-M2-R2)					9.430		
8 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				7.476		
9 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				7.363		
10 - ECC		2.209	7.828		21.542		

Verifiche portanza trasversale (scorrimento)

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
T	Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kN]
Td	Portanza trasversale di progetto, espresso in [kN]
FS _o	Fattore di sicurezza (Td/T)

Ic	Ip	T [kN]	Td [kN]	FS _o
1 - STR (A1-M1-R3)	1	-8,79	25,72	2.926
	2	-8,79	25,72	2.926
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	-10,68	25,72	2.408
	2	-10,68	25,72	2.408
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-10,20	25,72	2.522
	2	-10,20	25,72	2.522
4 - STR (A1-M1-R3)	1	-8,79	25,72	2.926
	2	-8,79	25,72	2.926
5 - STR (A1-M1-R3)	1	-8,79	25,72	2.926
	2	-8,79	25,72	2.926
6 - STR (A1-M1-R3)	1	-8,79	25,72	2.926
	2	-8,79	25,72	2.926
10 - ECC	1	-15,14	33,44	2.209
	2	-15,14	33,44	2.209

Verifiche portanza verticale

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
N	Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kN]
Pd	Portanza di progetto, espresso in [kN]
FS _v	Fattore di sicurezza (Pd/N)

Ic	Ip	N [kN]	Pd [kN]	FS _v
1 - STR (A1-M1-R3)	1	64,99	113,79	1.751
	2	76,83	113,79	1.481
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	36,49	113,79	3.118
	2	60,82	113,79	1.871
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	31,93	113,79	3.563
	2	55,32	113,79	2.057
4 - STR (A1-M1-R3)	1	72,06	113,79	1.579
	2	85,70	113,79	1.328
5 - STR (A1-M1-R3)	1	66,41	113,79	1.714
	2	78,15	113,79	1.456
6 - STR (A1-M1-R3)	1	70,65	113,79	1.611
	2	84,37	113,79	1.349
10 - ECC	1	7,52	150,45	20.000
	2	129,02	150,45	1.166

Dettagli calcolo portanza verticale

Simbologia adottata

n°	Indice palo
Nc, Nq	Coeff. di capacità portante
N'c, N'q	Coeff. di capacità portante corretti
Zc	Massima profondità andamento pressione geostatica, espressa in [m]
Pp, Pl	Portanza di punta e laterale caratteristica, espresse in [kN]
A	Attrito negativo, espresso in [kN]
Wp	Peso palo, espresso in [kN]

n°	Nc	N'c	Nq	N'q	Zc [m]	Pp [kN]	Pl [kN]	A [kN]	Wp [kN]
1	15.815	32.641	7.071	8.662	--	208,27	63,86	0,00	9,63
2	15.815	32.641	7.071	8.662	--	208,27	63,86	0,00	9,63

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
10 - ECC	144,52	18,46	7.828

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
7 - GEO (A2-M2-R2)	-1,00; 4,50	9,93	9.430
8 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-1,00; 4,50	9,93	7.476
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-1,00; 4,50	9,93	7.363
10 - ECC	-2,00; 1,00	3,66	21.542

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 [kN]
Qy	carico sulla striscia espresso in [kN]

Qf	carico acqua sulla striscia espresso in [kN]
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 [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
Tx; Ty	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	9,07	18,00	0,00	7,87 - 0,69	58.808	26.560	0	0,0	
2	25,19	18,00	0,00	0,69	52.124	26.560	0	0,0	
3	37,93	18,00	0,00	0,69	45.995	26.560	0	0,0	
4	48,30	18,00	0,00	0,69	40.492	26.560	0	0,0	
5	56,89	18,00	0,00	0,69	35.414	26.560	0	0,0	
6	64,05	18,00	0,00	0,69	30.642	26.560	0	0,0	
7	69,99	18,00	0,00	0,69	26.096	26.560	0	0,0	
8	74,87	18,00	0,00	0,69	21.722	26.560	0	0,0	
9	78,78	18,00	0,00	0,69	17.478	26.560	0	0,0	
10	82,06	18,00	0,00	0,69	13.331	26.560	0	0,0	
11	84,68	18,00	0,00	0,69	9.255	26.560	0	0,0	
12	79,89	6,96	0,00	0,69	5.226	26.560	0	0,0	
13	74,13	0,00	0,00	0,69	1.222	26.560	0	0,0	
14	73,98	0,00	0,00	0,69	-2.775	26.560	0	0,0	
15	73,06	0,00	0,00	0,69	-6.786	26.560	0	0,0	
16	71,36	0,00	0,00	0,69	-10.831	26.560	0	0,0	
17	68,84	0,00	0,00	0,69	-14.932	26.560	0	0,0	
18	65,48	0,00	0,00	0,69	-19.113	26.560	0	0,0	
19	61,20	0,00	0,00	0,69	-23.403	26.560	0	0,0	
20	55,92	0,00	0,00	0,69	-27.839	26.560	0	0,0	
21	49,53	0,00	0,00	0,69	-32.465	26.560	0	0,0	
22	41,85	0,00	0,00	0,69	-37.345	26.560	0	0,0	
23	32,62	0,00	0,00	0,69	-42.570	26.560	0	0,0	
24	21,42	0,00	0,00	0,69	-48.285	26.560	0	0,0	
25	7,49	0,00	0,00	-9,44 - 0,69	-54.268	26.560	0	0,0	

Resistenza al taglio pali 651,31 [kN]

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	9,07	8,31	0,00	7,87 - 0,69	58.808	32.000	0	0,0	
2	25,19	8,31	0,00	0,69	52.124	32.000	0	0,0	
3	37,93	8,31	0,00	0,69	45.995	32.000	0	0,0	
4	48,30	8,31	0,00	0,69	40.492	32.000	0	0,0	
5	56,89	8,31	0,00	0,69	35.414	32.000	0	0,0	
6	64,05	8,31	0,00	0,69	30.642	32.000	0	0,0	
7	69,99	8,31	0,00	0,69	26.096	32.000	0	0,0	
8	74,87	8,31	0,00	0,69	21.722	32.000	0	0,0	
9	78,78	8,31	0,00	0,69	17.478	32.000	0	0,0	
10	82,06	8,31	0,00	0,69	13.331	32.000	0	0,0	
11	84,68	8,31	0,00	0,69	9.255	32.000	0	0,0	
12	79,89	3,35	0,00	0,69	5.226	32.000	0	0,0	
13	74,13	0,00	0,00	0,69	1.222	32.000	0	0,0	
14	73,98	0,00	0,00	0,69	-2.775	32.000	0	0,0	
15	73,06	0,00	0,00	0,69	-6.786	32.000	0	0,0	
16	71,36	0,00	0,00	0,69	-10.831	32.000	0	0,0	
17	68,84	0,00	0,00	0,69	-14.932	32.000	0	0,0	
18	65,48	0,00	0,00	0,69	-19.113	32.000	0	0,0	
19	61,20	0,00	0,00	0,69	-23.403	32.000	0	0,0	
20	55,92	0,00	0,00	0,69	-27.839	32.000	0	0,0	
21	49,53	0,00	0,00	0,69	-32.465	32.000	0	0,0	
22	41,85	0,00	0,00	0,69	-37.345	32.000	0	0,0	
23	32,62	0,00	0,00	0,69	-42.570	32.000	0	0,0	
24	21,42	0,00	0,00	0,69	-48.285	32.000	0	0,0	
25	7,49	0,00	0,00	-9,44 - 0,69	-54.268	32.000	0	0,0	

Resistenza al taglio pali 651,31 [kN]

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	9,07	8,31	0,00	7,87 - 0,69	58.808	32.000	0	0,0	
2	25,19	8,31	0,00	0,69	52.124	32.000	0	0,0	
3	37,93	8,31	0,00	0,69	45.995	32.000	0	0,0	
4	48,30	8,31	0,00	0,69	40.492	32.000	0	0,0	
5	56,89	8,31	0,00	0,69	35.414	32.000	0	0,0	
6	64,05	8,31	0,00	0,69	30.642	32.000	0	0,0	
7	69,99	8,31	0,00	0,69	26.096	32.000	0	0,0	
8	74,87	8,31	0,00	0,69	21.722	32.000	0	0,0	
9	78,78	8,31	0,00	0,69	17.478	32.000	0	0,0	
10	82,06	8,31	0,00	0,69	13.331	32.000	0	0,0	
11	84,68	8,31	0,00	0,69	9.255	32.000	0	0,0	
12	79,89	3,35	0,00	0,69	5.226	32.000	0	0,0	
13	74,13	0,00	0,00	0,69	1.222	32.000	0	0,0	
14	73,98	0,00	0,00	0,69	-2.775	32.000	0	0,0	
15	73,06	0,00	0,00	0,69	-6.786	32.000	0	0,0	
16	71,36	0,00	0,00	0,69	-10.831	32.000	0	0,0	
17	68,84	0,00	0,00	0,69	-14.932	32.000	0	0,0	
18	65,48	0,00	0,00	0,69	-19.113	32.000	0	0,0	
19	61,20	0,00	0,00	0,69	-23.403	32.000	0	0,0	
20	55,92	0,00	0,00	0,69	-27.839	32.000	0	0,0	

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
21	49,53	0,00	0,00	0,69	-32,465	32,000	0	0,0	
22	41,85	0,00	0,00	0,69	-37,345	32,000	0	0,0	
23	32,62	0,00	0,00	0,69	-42,570	32,000	0	0,0	
24	21,42	0,00	0,00	0,69	-48,285	32,000	0	0,0	
25	7,49	0,00	0,00	-9,44 - 0,69	-54,268	32,000	0	0,0	

Resistenza al taglio pali 651,31 [kN]

Combinazione n° 10 - ECC

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	2,04	0,00	0,00	1,53 - 0,27	67,783	32,000	0	0,0	
2	5,86	0,00	0,00	0,27	58,890	32,000	0	0,0	
3	8,16	0,00	0,00	0,27	51,400	32,000	0	0,0	
4	10,04	0,00	0,00	0,27	45,015	32,000	0	0,0	
5	11,56	30,76	0,00	0,27	39,287	32,000	0	0,0	
6	12,83	0,00	0,00	0,27	34,001	32,000	0	0,0	
7	9,08	0,35	0,00	0,27	29,030	32,000	0	0,0	
8	9,77	0,00	0,00	0,27	24,289	32,000	0	0,0	
9	10,45	0,00	0,00	0,27	19,720	32,000	0	0,0	
10	10,98	0,00	0,00	0,27	15,279	32,000	0	0,0	
11	11,37	0,00	0,00	0,27	10,931	32,000	0	0,0	
12	11,63	0,00	0,00	0,27	6,647	32,000	0	0,0	
13	11,76	0,00	0,00	0,27	2,399	32,000	0	0,0	
14	11,77	0,00	0,00	0,27	-1,835	32,000	0	0,0	
15	11,65	0,00	0,00	0,27	-6,079	32,000	0	0,0	
16	11,41	0,00	0,00	0,27	-10,357	32,000	0	0,0	
17	11,04	0,00	0,00	0,27	-14,695	32,000	0	0,0	
18	10,53	0,00	0,00	0,27	-19,121	32,000	0	0,0	
19	9,87	0,00	0,00	0,27	-23,671	32,000	0	0,0	
20	9,06	0,00	0,00	0,27	-28,386	32,000	0	0,0	
21	8,06	0,00	0,00	0,27	-33,323	32,000	0	0,0	
22	6,84	0,00	0,00	0,27	-38,561	32,000	0	0,0	
23	5,36	0,00	0,00	0,27	-44,219	32,000	0	0,0	
24	3,54	0,00	0,00	0,27	-50,499	32,000	0	0,0	
25	1,20	0,00	0,00	-5,22 - 0,27	-56,546	32,000	0	0,0	

Resistenza al taglio pali 651,31 [kN]

7.1.2 Cordolo semplice

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)		2.533		3.173			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.617		3.551			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.520		3.676			
4 - STR (A1-M1-R3)		2.884		3.120			
5 - STR (A1-M1-R3)		2.574		3.145			
6 - STR (A1-M1-R3)		2.843		3.151			
7 - GEO (A2-M2-R2)					1.316		
8 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.538		
9 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.496		
10 - EQU (A1-M1-R3)			15.228				
11 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		7.959				
12 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		5.609				
13 - ECC		1.590	2.859	1.686	2.003		

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

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

n°	Rsa [kN]	Rpt [kN]	Rps [kN]	Rp [kN]	Rt [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	20,04	0,00	0,00	--	--	20,04	7,91	2.533
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	14,68	0,00	0,00	--	--	14,68	9,08	1.617
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	13,14	0,00	0,00	--	--	13,14	8,65	1.520

n°	Rsa [kN]	Rpt [kN]	Rps [kN]	Rp [kN]	Rt [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
4 - STR (A1-M1-R3)	22,82	0,00	0,00	--	--	22,82	7,91	2.884
5 - STR (A1-M1-R3)	20,36	0,00	0,00	--	--	20,36	7,91	2.574
6 - STR (A1-M1-R3)	22,50	0,00	0,00	--	--	22,50	7,91	2.843
13 - ECC	21,66	0,00	0,00	--	--	21,66	13,62	1.590

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

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

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	51,32	162,87	116,34	3.173
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	37,60	133,54	111,28	3.551
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	33,66	123,74	103,12	3.676
4 - STR (A1-M1-R3)	58,44	182,30	130,22	3.120
5 - STR (A1-M1-R3)	52,15	164,03	117,17	3.145
6 - STR (A1-M1-R3)	57,61	181,53	129,66	3.151
13 - ECC	55,47	93,52	66,80	1.686

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante
ic, iq, iy	Fattori di inclinazione del carico
dc, dq, dy	Fattori di profondità del piano di posa
gc, gq, gy	Fattori di inclinazione del profilo topografico
bc, bq, by	Fattori di inclinazione del piano di posa
sc, sq, sy	Fattori di forma della fondazione
pc, pq, py	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
ry	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia 0.5ByNy 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 [kN/mc]
φ	Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]
c	Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]
Per i coeff. che in tabella sono indicati con il simbolo '--' sono coeff. non presenti nel metodo scelto (Meyerhof).	

n°	Nc Nq Ny	ic iq iy	dc dq dy	gc gq gy	bc bq by	sc sq sy	pc pq py	Ir	Irc	Re	ry
1	35.490	0.815	1.000	--	--	--	--	--	--	0.725	1.000
	23.177	0.815	1.000	--	--	--	--	--	--		
	22.022	0.527	1.000	--	--	--	--	--	--		
2	35.490	0.721	1.000	--	--	--	--	--	--	0.945	1.000
	23.177	0.721	1.000	--	--	--	--	--	--		
	22.022	0.332	1.000	--	--	--	--	--	--		
3	35.490	0.705	1.000	--	--	--	--	--	--	0.961	1.000
	23.177	0.705	1.000	--	--	--	--	--	--		
	22.022	0.302	1.000	--	--	--	--	--	--		
4	35.490	0.836	1.000	--	--	--	--	--	--	0.743	1.000
	23.177	0.836	1.000	--	--	--	--	--	--		
	22.022	0.576	1.000	--	--	--	--	--	--		
5	35.490	0.817	1.000	--	--	--	--	--	--	0.722	1.000
	23.177	0.817	1.000	--	--	--	--	--	--		
	22.022	0.533	1.000	--	--	--	--	--	--		
6	35.490	0.834	1.000	--	--	--	--	--	--	0.746	1.000
	23.177	0.834	1.000	--	--	--	--	--	--		
	22.022	0.571	1.000	--	--	--	--	--	--		
13	35.490	0.717	1.000	--	--	--	--	--	--	0.678	1.000
	23.177	0.717	1.000	--	--	--	--	--	--		
	22.022	0.324	1.000	--	--	--	--	--	--		

n°	D [m]	B' [m]	H [m]	γ [°]	φ [kN/mc]	c [kPa]
1	0,00	1,30	1,17	22,90	32,00	0
2	0,00	1,30	1,17	22,90	32,00	0
3	0,00	1,30	1,17	22,90	32,00	0
4	0,00	1,30	1,17	22,90	32,00	0
5	0,00	1,30	1,17	22,90	32,00	0
6	0,00	1,30	1,17	22,90	32,00	0
13	0,00	1,30	1,17	22,90	32,00	0

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kNm]
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
	[kNm]	[kNm]	
10 - EQU (A1-M1-R3)	41,11	2,70	15.228
11 - EQU (A1-M1-R3) H + V	28,12	3,53	7.959
12 - EQU (A1-M1-R3) H - V	26,54	4,73	5.609
13 - ECC	43,97	15,38	2.859

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]	
7 - GEO (A2-M2-R2)	-0,50; 1,00	2,19	1.316
8 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-0,50; 1,50	2,61	1.538
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-0,50; 1,50	2,61	1.496
13 - ECC	-0,50; 0,50	1,81	2.003

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 [kN]
Qy	carico sulla striscia espresso in [kN]
Qf	carico acqua sulla striscia espresso in [kN]
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 [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
Tx; Ty	Resistenza al taglio fornita dai tiranti in direzione X ed Y espressa in [kPa]

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	0,31	3,42	0,00	1,46 - 0,13	57,435	26,560	0	0,0	
2	0,89	3,42	0,00	0,13	53,678	26,560	0	0,0	
3	1,38	3,42	0,00	0,13	48,188	26,560	0	0,0	
4	1,79	3,42	0,00	0,13	43,242	26,560	0	0,0	
5	2,14	3,42	0,00	0,13	38,673	26,560	0	0,0	
6	2,60	3,42	0,00	0,13	34,382	26,560	0	0,0	
7	2,81	3,42	0,00	0,13	30,302	26,560	0	0,0	
8	3,02	3,42	0,00	0,13	26,386	26,560	0	0,0	
9	3,20	3,42	0,00	0,13	22,599	26,560	0	0,0	
10	3,35	3,42	0,00	0,13	18,914	26,560	0	0,0	
11	3,48	3,42	0,00	0,13	15,310	26,560	0	0,0	
12	3,60	0,32	0,00	0,13	11,766	26,560	0	0,0	
13	3,67	0,45	0,00	0,13	8,268	26,560	0	0,0	
14	3,72	0,00	0,00	0,13	4,801	26,560	0	0,0	
15	3,48	0,00	0,00	0,13	1,351	26,560	0	0,0	
16	1,32	0,00	0,00	0,13	-2,093	26,560	0	0,0	
17	1,29	0,00	0,00	0,13	-5,546	26,560	0	0,0	
18	1,24	0,00	0,00	0,13	-9,018	26,560	0	0,0	
19	1,17	0,00	0,00	0,13	-12,525	26,560	0	0,0	
20	1,06	0,00	0,00	0,13	-16,080	26,560	0	0,0	
21	0,94	0,00	0,00	0,13	-19,701	26,560	0	0,0	
22	0,78	0,00	0,00	0,13	-23,405	26,560	0	0,0	
23	0,59	0,00	0,00	0,13	-27,217	26,560	0	0,0	
24	0,37	0,00	0,00	0,13	-31,165	26,560	0	0,0	
25	0,11	0,00	0,00	-1,83 - 0,13	-32,247	26,560	0	0,0	

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

n°	W	Qy	Qf	b	α	ϕ	c	u	Tx; Ty
	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kN]
1	0,27	1,67	0,00	1,65 - 0,14	50,036	32,000	0	0,0	
2	0,78	1,67	0,00	0,14	48,009	32,000	0	0,0	
3	1,24	1,67	0,00	0,14	43,605	32,000	0	0,0	
4	1,63	1,67	0,00	0,14	39,506	32,000	0	0,0	
5	1,98	1,67	0,00	0,14	35,638	32,000	0	0,0	
6	2,27	1,67	0,00	0,14	31,949	32,000	0	0,0	
7	2,71	1,67	0,00	0,14	28,404	32,000	0	0,0	
8	2,89	1,67	0,00	0,14	24,974	32,000	0	0,0	
9	3,08	1,67	0,00	0,14	21,638	32,000	0	0,0	
10	3,25	1,67	0,00	0,14	18,377	32,000	0	0,0	
11	3,38	1,67	0,00	0,14	15,178	32,000	0	0,0	
12	3,49	1,36	0,00	0,14	12,026	32,000	0	0,0	
13	3,60	0,00	0,00	0,14	8,911	32,000	0	0,0	
14	3,66	0,35	0,00	0,14	5,822	32,000	0	0,0	
15	3,70	0,00	0,00	0,14	2,750	32,000	0	0,0	
16	2,16	0,00	0,00	0,14	-0,314	32,000	0	0,0	
17	1,13	0,00	0,00	0,14	-3,379	32,000	0	0,0	
18	1,09	0,00	0,00	0,14	-6,453	32,000	0	0,0	

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
19	1,03	0,00	0,00	0,14	-9,547	32,000	0	0,0	
20	0,94	0,00	0,00	0,14	-12,669	32,000	0	0,0	
21	0,83	0,00	0,00	0,14	-15,829	32,000	0	0,0	
22	0,69	0,00	0,00	0,14	-19,041	32,000	0	0,0	
23	0,52	0,00	0,00	0,14	-22,315	32,000	0	0,0	
24	0,32	0,00	0,00	0,14	-25,669	32,000	0	0,0	
25	0,09	0,00	0,00	-1,84 - 0,14	-25,534	32,000	0	0,0	

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	0,27	1,67	0,00	1,65 - 0,14	50,036	32,000	0	0,0	
2	0,78	1,67	0,00	0,14	48,009	32,000	0	0,0	
3	1,24	1,67	0,00	0,14	43,605	32,000	0	0,0	
4	1,63	1,67	0,00	0,14	39,506	32,000	0	0,0	
5	1,98	1,67	0,00	0,14	35,638	32,000	0	0,0	
6	2,27	1,67	0,00	0,14	31,949	32,000	0	0,0	
7	2,71	1,67	0,00	0,14	28,404	32,000	0	0,0	
8	2,89	1,67	0,00	0,14	24,974	32,000	0	0,0	
9	3,08	1,67	0,00	0,14	21,638	32,000	0	0,0	
10	3,25	1,67	0,00	0,14	18,377	32,000	0	0,0	
11	3,38	1,67	0,00	0,14	15,178	32,000	0	0,0	
12	3,49	1,36	0,00	0,14	12,026	32,000	0	0,0	
13	3,60	0,00	0,00	0,14	8,911	32,000	0	0,0	
14	3,66	0,35	0,00	0,14	5,822	32,000	0	0,0	
15	3,70	0,00	0,00	0,14	2,750	32,000	0	0,0	
16	2,16	0,00	0,00	0,14	-0,314	32,000	0	0,0	
17	1,13	0,00	0,00	0,14	-3,379	32,000	0	0,0	
18	1,09	0,00	0,00	0,14	-6,453	32,000	0	0,0	
19	1,03	0,00	0,00	0,14	-9,547	32,000	0	0,0	
20	0,94	0,00	0,00	0,14	-12,669	32,000	0	0,0	
21	0,83	0,00	0,00	0,14	-15,829	32,000	0	0,0	
22	0,69	0,00	0,00	0,14	-19,041	32,000	0	0,0	
23	0,52	0,00	0,00	0,14	-22,315	32,000	0	0,0	
24	0,32	0,00	0,00	0,14	-25,669	32,000	0	0,0	
25	0,09	0,00	0,00	-1,84 - 0,14	-25,534	32,000	0	0,0	

Combinazione n° 13 - ECC

n°	W [kN]	Qy [kN]	Qf [kN]	b [m]	α [°]	φ [°]	c [kPa]	u [kPa]	Tx; Ty [kN]
1	0,41	0,00	0,00	1,25 - 0,12	67,271	32,000	0	0,0	
2	1,13	0,00	0,00	0,12	60,133	32,000	0	0,0	
3	1,66	0,00	0,00	0,12	52,993	32,000	0	0,0	
4	2,12	0,00	0,00	0,12	46,914	32,000	0	0,0	
5	2,54	0,00	0,00	0,12	41,470	32,000	0	0,0	
6	2,82	0,00	0,00	0,12	36,457	32,000	0	0,0	
7	3,05	0,00	0,00	0,12	31,751	32,000	0	0,0	
8	3,25	30,76	0,00	0,12	27,276	32,000	0	0,0	
9	3,41	0,00	0,00	0,12	22,975	32,000	0	0,0	
10	3,55	0,00	0,00	0,12	18,809	32,000	0	0,0	
11	3,67	0,00	0,00	0,12	14,743	32,000	0	0,0	
12	3,76	0,00	0,00	0,12	10,753	32,000	0	0,0	
13	3,81	0,35	0,00	0,12	6,815	32,000	0	0,0	
14	3,84	0,00	0,00	0,12	2,909	32,000	0	0,0	
15	2,14	0,00	0,00	0,12	-0,984	32,000	0	0,0	
16	1,57	0,00	0,00	0,12	-4,880	32,000	0	0,0	
17	1,53	0,00	0,00	0,12	-8,800	32,000	0	0,0	
18	1,46	0,00	0,00	0,12	-12,762	32,000	0	0,0	
19	1,37	0,00	0,00	0,12	-16,787	32,000	0	0,0	
20	1,25	0,00	0,00	0,12	-20,900	32,000	0	0,0	
21	1,10	0,00	0,00	0,12	-25,130	32,000	0	0,0	
22	0,92	0,00	0,00	0,12	-29,513	32,000	0	0,0	
23	0,71	0,00	0,00	0,12	-34,097	32,000	0	0,0	
24	0,45	0,00	0,00	0,12	-38,946	32,000	0	0,0	
25	0,14	0,00	0,00	-1,82 - 0,12	-41,610	32,000	0	0,0	

7.2 Verifiche strutturali

Si riportano di seguito le verifiche strutturali delle due sezioni.

7.2.1 Cordolo su pali

Si riportano di seguito l'involuppo delle sollecitazioni agenti sui pali e le relative verifiche strutturali.

Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione
Ip Indice palo
N Sforzo normale, espresso in [kN]

M Momento, espresso in [kNm]
 T Taglio, espresso in [kN]

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione
 Ip Indice palo
 N Sforzo normale, espresso in [kN]
 M Momento, espresso in [kNm]
 T Taglio, espresso in [kN]

Cmb	Ip	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	64,99	0,00	-8,79
	2	76,83	0,00	-8,79
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	36,49	0,00	-10,68
	2	60,82	0,00	-10,68
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	31,93	0,00	-10,20
	2	55,32	0,00	-10,20
4 - STR (A1-M1-R3)	1	72,06	0,00	-8,79
	2	85,70	0,00	-8,79
5 - STR (A1-M1-R3)	1	66,41	0,00	-8,79
	2	78,15	0,00	-8,79
6 - STR (A1-M1-R3)	1	70,65	0,00	-8,79
	2	84,37	0,00	-8,79
10 - ECC	1	7,52	0,00	-15,14
	2	129,02	0,00	-15,14

$$N_{max} = 129,02 \text{ kN}$$

Sollecitazioni pali

Simbologia adottata

N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
 T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
 M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	64,99	272,31	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	66,15	272,31	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	67,30	272,31	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	70,77	272,31	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	72,70	272,31	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	57,11	209,91	0,00	-0,01	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	76,83	272,29	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	77,98	272,29	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	79,14	272,29	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	82,61	272,29	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	84,53	272,29	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	66,17	209,89	0,00	-0,01	0,00	0,00

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	36,49	272,31	-10,68	-33,44	0,00	0,00
14	1,17	37,74	272,31	0,59	-12,11	6,67	31,44
25	2,16	38,80	272,31	3,18	14,60	4,40	28,55
61	5,40	42,27	272,31	-0,02	0,69	-0,29	-1,34
81	7,20	44,19	272,31	-0,13	-0,76	-0,08	-0,66
101	9,00	35,29	209,91	0,00	-0,01	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	60,82	272,32	-10,68	-33,44	0,00	0,00
14	1,17	62,07	272,32	0,59	-12,11	6,67	31,44
25	2,16	63,13	272,32	3,18	14,60	4,40	28,55
61	5,40	66,60	272,32	-0,02	0,69	-0,29	-1,34

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
81	7,20	68,52	272,32	-0,13	-0,76	-0,08	-0,66
101	9,00	53,92	209,91	0,00	-0,01	0,00	0,00

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	31,93	272,31	-10,20	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	33,09	272,31	0,02	-15,16	6,26	30,08
25	2,16	34,24	272,31	2,98	14,60	4,11	28,55
61	5,40	37,71	272,31	-0,02	0,69	-0,27	-1,34
81	7,20	39,64	272,31	-0,12	-0,76	-0,08	-0,66
101	9,00	31,81	209,91	0,00	-0,01	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	55,32	272,30	-10,20	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	56,48	272,30	0,02	-15,16	6,26	30,08
25	2,16	57,63	272,30	2,98	14,60	4,11	28,55
61	5,40	61,10	272,30	-0,02	0,69	-0,27	-1,34
81	7,20	63,03	272,30	-0,12	-0,76	-0,08	-0,66
101	9,00	49,71	209,89	0,00	-0,01	0,00	0,00

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	72,06	272,30	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	73,22	272,30	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	74,38	272,30	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	77,84	272,30	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	79,77	272,30	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	62,52	209,89	0,00	-0,01	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	85,70	272,29	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	86,85	272,29	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	88,01	272,29	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	91,48	272,29	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	93,40	272,29	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	72,96	209,89	0,00	-0,01	0,00	0,00

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	66,41	272,32	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	67,56	272,32	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	68,72	272,32	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	72,18	272,32	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	74,11	272,32	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	58,19	209,91	0,00	-0,01	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	78,15	272,32	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	79,31	272,32	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	80,46	272,32	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	83,93	272,32	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	85,86	272,32	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	67,18	209,91	0,00	-0,01	0,00	0,00

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	70,65	272,31	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	71,81	272,31	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	72,96	272,31	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	76,43	272,31	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	78,35	272,31	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	61,44	209,91	0,00	-0,01	0,00	0,00

Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	84,37	272,30	-8,79	-33,44	0,00	0,00
13	1,08	85,53	272,30	0,10	-15,16	5,17	30,08
25	2,16	86,68	272,30	2,46	14,60	3,36	28,55
61	5,40	90,15	272,30	-0,02	0,69	-0,23	-1,34
81	7,20	92,08	272,30	-0,10	-0,76	-0,06	-0,66
101	9,00	71,94	209,90	0,00	-0,01	0,00	0,00

Combinazione n° 10 - ECC

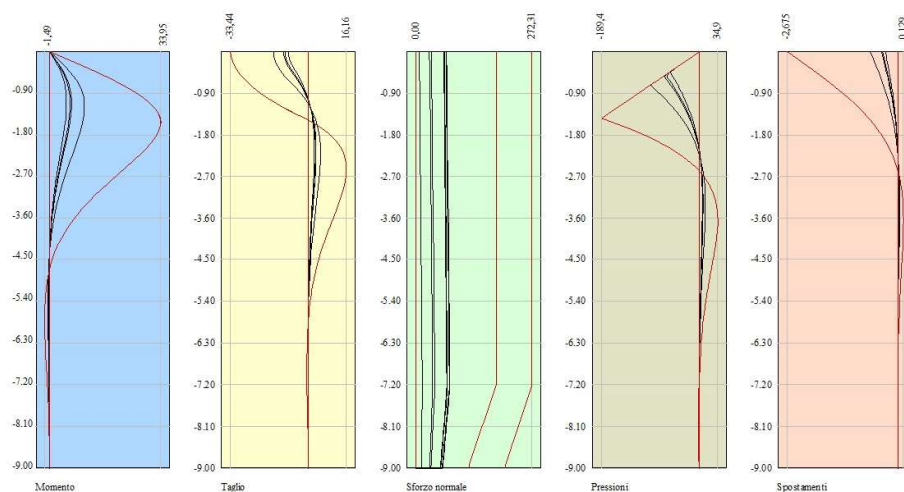
Palo n° 1

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	7,52	188,06	-15,14	-33,44	0,00	0,00
14	1,17	8,77	188,06	0,33	-12,11	10,67	31,44
25	2,16	9,83	188,06	5,08	14,60	7,33	28,54
62	5,49	13,40	188,06	-0,04	0,48	-0,47	-1,41
82	7,29	15,23	184,78	-0,19	-0,74	-0,12	-0,59

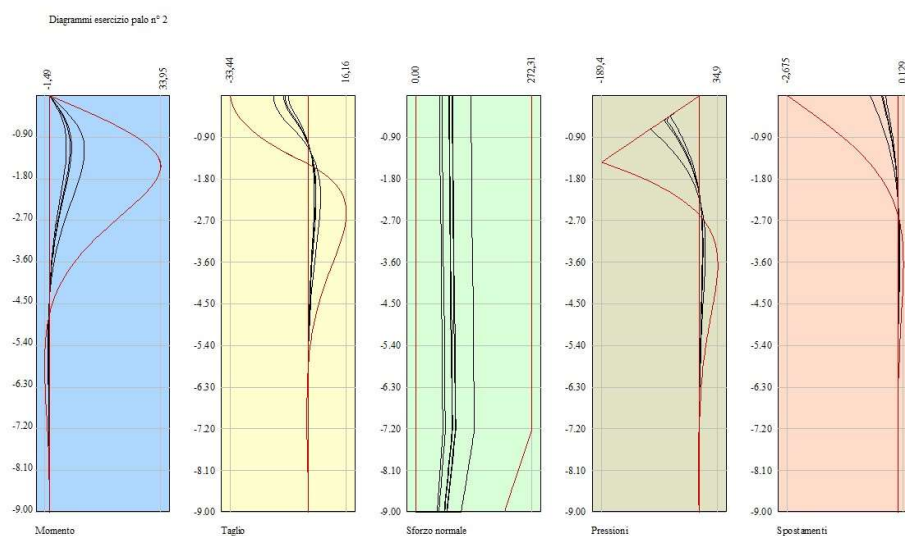
Palo n° 2

n°	Y [m]	N [kN]	Nr [kN]	T [kN]	Tr [kN]	M [kNm]	Mr [kNm]
1	0,00	129,02	272,30	-15,14	-33,44	0,00	0,00
14	1,17	130,27	272,30	0,33	-12,11	10,67	31,44
25	2,16	131,33	272,30	5,08	14,60	7,33	28,54
62	5,49	134,89	272,30	-0,04	0,48	-0,47	-1,41
81	7,20	136,72	272,30	-0,21	-0,76	-0,14	-0,66
101	9,00	106,11	209,89	0,00	-0,01	0,00	0,00

Diagrammi esercizio palo n° 1



Involuppo sollecitazioni palo n°1



Involuppo sollecitazioni palo n°2

Verifiche strutturali

Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n°	indice sezione
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori espressa in [cmq]
Afs	area ferri superiori espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kNm]
N	sforzo normale agente espressa in [kN]
Mrd	momento resistente espressa in [kNm]
Nrd	sforzo normale resistente espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente)

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Ip	Is	A _f [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mrd [kNm]	Nrd [kN]	FS
1	13	32,77	5,17	66,15	33,52	66,15	6.480
2	13	32,77	5,17	77,98	33,44	77,98	6.465

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Ip	Is	A _f [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mrd [kNm]	Nrd [kN]	FS
1	14	32,77	6,67	37,74	33,70	37,74	5.055
2	14	32,77	6,67	62,07	33,54	62,07	5.030

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Ip	Is	A _f [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mrd [kNm]	Nrd [kN]	FS
1	13	32,77	6,26	33,09	33,73	33,09	5.388
2	13	32,77	6,26	56,48	33,58	56,48	5.363

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Ip	Is	A _f [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mrd [kNm]	Nrd [kN]	FS
1	13	32,77	5,17	73,22	33,47	73,22	6.471
2	13	32,77	5,17	86,85	33,38	86,85	6.453

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Ip	Is	A _r [cmq]	M [kNm]	N [kN]	M _{rd} [kNm]	N _{rd} [kN]	FS
1	13	32,77	5,17	67,56	33,51	67,56	6.478
2	13	32,77	5,17	79,31	33,43	79,31	6.463

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Ip	Is	A _r [cmq]	M [kNm]	N [kN]	M _{rd} [kNm]	N _{rd} [kN]	FS
1	13	32,77	5,17	71,81	33,48	71,81	6.472
2	13	32,77	5,17	85,53	33,39	85,53	6.455

Combinazione n° 10 - ECC

Ip	Is	A _r [cmq]	M [kNm]	N [kN]	M _{rd} [kNm]	N _{rd} [kN]	FS
1	14	32,77	10,67	8,77	33,89	8,77	3.176
2	14	32,77	10,67	130,27	33,09	130,27	3.101

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

n° (o Is)	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
A _{sw}	area ferri a taglio espresso in [cmq]
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
V _{Rcd}	resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN]
V _{Rsd}	resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN]
V _{Rd}	resistenza di progetto a taglio espresso in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A _{sw} >0.0) V _{Rd} =min(V _{Rcd} , V _{Rsd}).
T	taglio agente espressa in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

La verifica a taglio sui micropali viene eseguita considerando il solo contributo resistente del tubolare. L'area della sezione effettiva di verifica (A_{eff}) viene determinata come area lorda (A) della sezione tubolare moltiplicata per 2 / π.

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Ip	Is	A _{sw} [cmq]	V _{Rd} [kN]	T [kN]	FS
1	1	20,86	407,19	8,79	46.314
2	1	20,86	407,19	8,79	46.314

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Ip	Is	A _{sw} [cmq]	V _{Rd} [kN]	T [kN]	FS
1	1	20,86	407,19	10,68	38.126
2	1	20,86	407,19	10,68	38.126

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Ip	Is	A _{sw} [cmq]	V _{Rd} [kN]	T [kN]	FS
1	1	20,86	407,19	10,20	39.917
2	1	20,86	407,19	10,20	39.917

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Ip	Is	A _{sw} [cmq]	V _{Rd} [kN]	T [kN]	FS
1	1	20,86	407,19	8,79	46.314
2	1	20,86	407,19	8,79	46.314

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

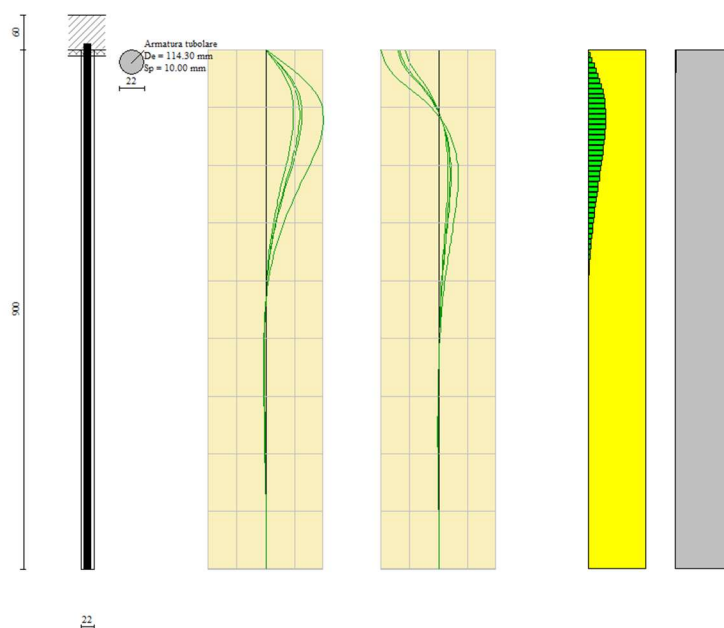
Ip	Is	A _{sw} [cmq]	V _{Rd} [kN]	T [kN]	FS
1	1	20,86	407,19	8,79	46.314
2	1	20,86	407,19	8,79	46.314

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

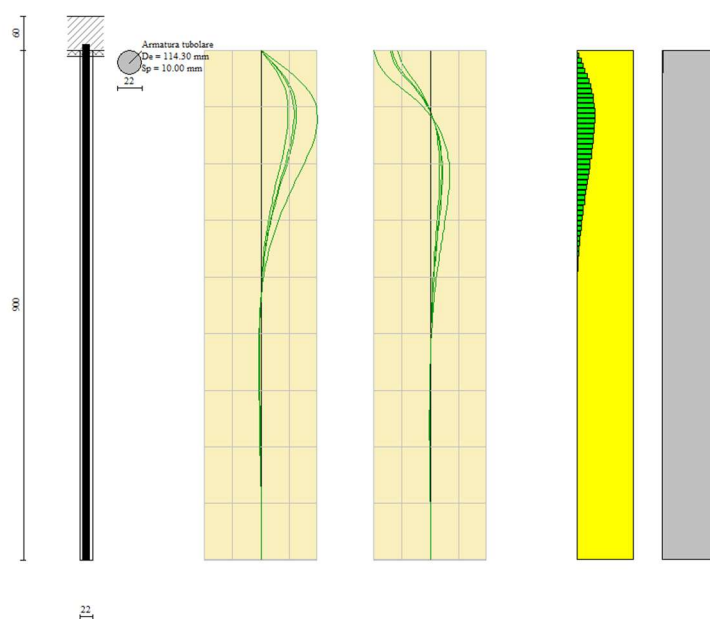
Ip	Is	A _{sw} [cmq]	V _{Rd} [kN]	T [kN]	FS
1	1	20,86	407,19	8,79	46.314
2	1	20,86	407,19	8,79	46.314

Combinazione n° 10 - ECC

Ip	Is	A _{sw} [cmq]	V _{Rd} [kN]	T [kN]	FS
1	1	20,86	407,19	15,14	26.901
2	1	20,86	407,19	15,14	26.901



Involuppo verifiche palo n°1



Involuppo verifiche palo n°2

Verifica a punzonamento

Si riporta infine la verifica a punzonamento, effettuata in corrispondenza della sollecitazione maggiore agente sui pali.

In questo caso si ha:

$$N_{ED} = 129,02 \text{ kN}$$

Secondo quanto indicato nell'EC2 la verifica a punzonamento va eseguita su due perimetri: lungo il perimetro a filo palo U_0 e lungo il perimetro efficace U_1 .

Si deve quindi verificare

$$v_{Ed0} = \beta \frac{V_{Ed}}{U_0 d} \leq v_{Rd,max}$$

$$v_{Rd,max} = 0,5 v_{f_{cd}}$$

$$v = 0.7 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

$$v_{Ed1} = \beta \frac{V_{Ed}}{U_1 d} \leq v_{Rd,c}$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

Per semplicità e a favore di sicurezza si è posto:

$$v_{Rd,c} = v_{min} = 0,035 k^{\frac{3}{2}} f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

Dove:

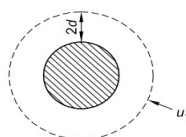
V_{Ed} azione sul palo;

$\beta = 1$ coefficiente che tiene conto dell'eccentricità del carico. Dato che i pali sono modellati come incernierati è stato posto pari al valore unitario;

$d = s - c - \phi/2$ altezza utile della sezione, in cui s spessore sezione, c copriferro, ϕ diametro barre armatura

$U_0 = \pi \phi$ perimetro a filo del palo, con ϕ = diametro dell'armatura tubolare del palo;

$U_1 = \pi(\phi + 4d)$ perimetro a filo del palo, con ϕ = diametro dell'armatura tubolare del palo;



$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2 \quad (d \text{ in mm})$$

f_{ck} resistenza caratteristica calcestruzzo

Spessore	Copri-ferro	f_{ck}	f_{cd}	ϕ tubolare	ϕ barre	Altezza utile d	β	k	U0	U1
mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	mm	-	-	mm	mm
600	50	25	14.17	114.3	14	543	1	1.61	359	7179

Da cui:

Ved	Ved0	Vrdmax	VER	Ved1	Vrd1	VER
kN	N/mm ²	N/mm ²		N/mm ²	N/mm ²	
95,98	0,66	4,46	OK	0,03	0,36	OK

La struttura è quindi verificata.

Verifica sezione in c.a.

Si riporta la verifica della sezione in c.a. a sbalzo, soggetta alle seguenti azioni massime:

$$V_{Ed} = P_{sbalzo} + P_{barr} = 8,75 + 0,35 = 9,10 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = M_{sbalzo} + M_{barr} + M_{urtotot} = 2,19 + 0,09 + 8,98 = 11,26 \text{ kNm/m}$$

Si riporta quindi la verifica della sezione 100x60 cm armata con 4+4 ϕ 14, eseguita con l'ausilio del software VcaSLU

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6,16	5
2	6,16	55

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

Materiali: B450C C25/30

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17 N/mm²
 E_s/E_c 15 I_{cc}/I_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 134,9 kNm

σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 50,3 ‰
d 55 cm
x 3,578 x/d 0,06505
 δ 0,7

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

o 0 cm Col. modello

M-curvatura

☐ Precompresso

Si riporta infine la verifica a taglio della sezione, che non presenta armatura specifica a taglio:

VERIFICA A TAGLIO DI UNA SEZIONE RETTANGOLARE IN C.A. - EC2

Caratteristiche di sollecitazione

Taglio sollecitante allo Stato Limite Ultimo	$V_{Ed} =$	9,10 [KN]
Forza assiale di precompressione	$N_{Ed} =$	0 [KN]

Caratteristiche del calcestruzzo

classe di resistenza del calcestruzzo	C25/30	
resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} =$	30 [N/mm ²]
resistenza caratteristica cilindrica $f_{ck} = 0,83 f_{ck,cube}$	$f_{ck} =$	25 [N/mm ²]
coefficiente di sicurezza	$\gamma_c =$	1,5 [-]
coefficiente di riduzione per carichi di lunga durata	$\alpha_{cc} =$	0,85 [-]
resistenza di progetto a compressione $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	$f_{cd} =$	14,2 [N/mm ²]

Caratteristiche acciaio d'armatura

tipologia acciaio	B450	
tensione di snervamento	$f_{yk} =$	450 [N/mm ²]
coefficiente di sicurezza	$\gamma_s =$	1,15 [-]
tensione di progetto	$f_{yd} =$	391,3 [N/mm ²]

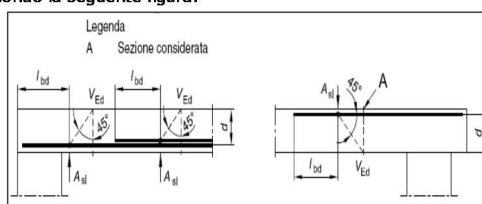
Geometria della trave

altezza sezione trasversale	$h =$	170 [mm]
larghezza sezione trasversale	$b_w =$	220 [mm]
copriferro	$c =$	30 [mm]
altezza utile	$d =$	140 [mm]

Armatura longitudinale tesa

numero ferri	$n_l =$	4 [-]
diametro ferri	$\phi_l =$	14 [mm]
area armatura tesa	$A_{st} =$	616 [mm ²]

dove A_{st} è definita secondo la seguente figura:



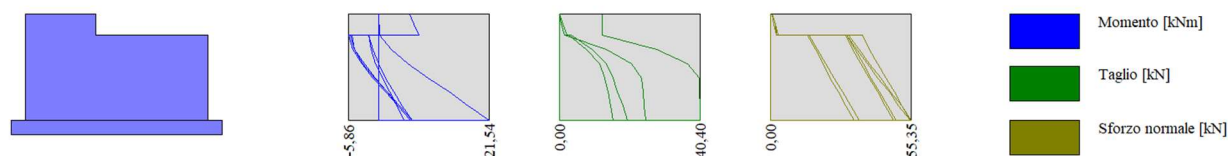
Calcolo resistenza a taglio di progetto dell'elemento privo di armatura a taglio

resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} =$	25 [N/mm ²]
coefficiente $k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2$	$k =$	2,00 [-]
rapporto d'armatura longitudinale $A_{st}/(db_w) \leq 0,02$	$\rho_l =$	0,0200 [-]
forza assiale di precompressione	$N_{Ed} =$	0 [N]
area sezione di calcestruzzo	$A_c =$	37400 [mm ²]
tensione di compr. sul calcestruzzo dovuta a N_{Ed}	$\sigma_{cp} =$	0,00 [N/mm ²]
coefficiente $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$	$C_{Rd,c} =$	0,12 [-]
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} =$	0,4950 [N/mm ²]
coefficiente k_1	$k_1 =$	0,15 [-]
resistenza a taglio minima $V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$	$V_{Rd,c,min} =$	15,25 [KN]
resistenza a taglio $V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$	$V_{Rd,c} =$	27,23 [KN]
disporre il quantitativo minimo di armatura a taglio da normativa		

7.2.2 Cordolo semplice

Si riportano di seguito le verifiche strutturali del cordolo, tale elemento è soggetto ad azioni di torsione, taglio verticale e orizzontale.

Tale elemento, studiato come struttura di fondazione, presenta il seguente involucro delle sollecitazioni:



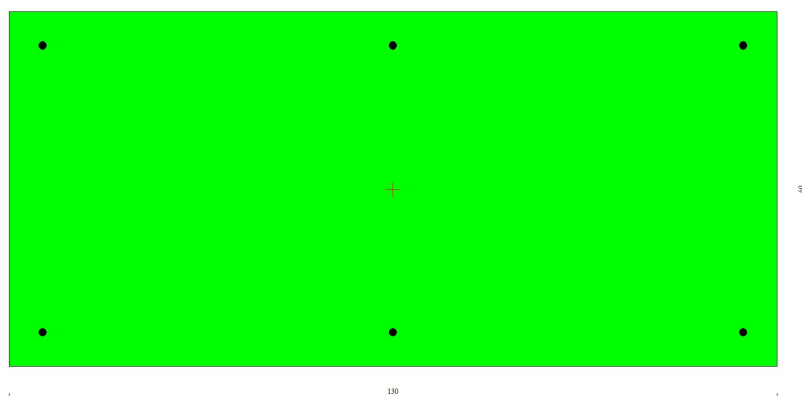
La sezione è quindi verificata come sezione di dimensioni 60x130 cm soggetta alle seguenti azioni:

Momento torcente: $M_T = 21,54 \text{ kNm}$

Taglio orizzontale: $V_x = 40,40 \text{ kN}$

Taglio verticale: $V_y = 55,35 \text{ kN}$

Si riporta la verifica della sezione eseguita con l'ausilio del software SAX, così modellata, a favore di sicurezza:



Sezione: 130x60 cm

Ferri longitudinali: 6Φ14

Staffe a taglio: Φ14/50

Staffe a torsione: Φ14/50

Totale staffe: Φ14/25

La resistenza al taglio della trave è la minore delle resistenze definite nei paragrafi precedenti:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

La resistenza alla torsione della trave è la minore delle resistenze definite nei paragrafi precedenti:

$$T_{Rd} = \min(T_{Rcd}, T_{Rsd}, T_{Rld})$$

Risultati taglio

Simbologia adottata

N°	indice della combinazione
Dir	Direzione di azione del taglio
V_{Rd}	Resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura trasversali a taglio, espresso in [kN]
V_{Rcd}	Resistenza di calcolo a "taglio compressione", espresso in [kN]
V_{Rsd}	resistenza di calcolo a "taglio trazione", espresso in [kN]
nb	Numero bracci staffe
Diametro e passo staffe, riportate nell'ultima colonna, sono i più cautelativi ottenuti dalla verifica a taglio nelle due direzioni.	

N°	Dir	T	V_{Rd}	V_{Rcd}	V_{Rsd}	nb	Diametro e passo staffe
1	X	40,4000	--	2381,0625	271,0648	2	φ14,00 - 50,00 [cm]

1	Y	55,3500	--	2269,9462	119,2685	2	φ14,00 - 50,00 [cm]
---	---	---------	----	-----------	----------	---	---------------------

Inviluppo verifiche a taglio**Simbologia adottata**

Dir.	Direzione di verifica
Ved	Taglio agente espresso in [kN]
VRd	Taglio resistente espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza
Comb.	Combinazione critica

Sezione n° 1 - sezione

Dir.	Ved	VRd	FS	Comb.
X	40,40	271,06	6.710	1
Y	55,35	119,27	2.155	1

Risultati momento torcente

Si ha:

$$t = 20,53 \text{ cm}$$

$$A = 4321,33 \text{ cm}^2$$

$$u_m = 297,89 \text{ cm}$$

Da cui:

$$T_{Rcd} = 625,79 \text{ kNm}$$

$$T_{Rsd} = 104,07 \text{ kNm}$$

$$T_{Rld} = 104,80 \text{ kNm}$$

Quindi:

$$T_{Rd} = 104,07 \text{ kNm}$$

La sezione è pertanto verificata.

8 Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018**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.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, 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 D.M. 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	MAX - Analisi e Calcolo Muri di Sostegno
Versione	16.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA
Licenza	AIU5927W1

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.

ALLEGATI:

ALLEGATO 1 – RELAZIONE SUI MATERIALI

ALLEGATO 2 – RELAZIONE SUI DISPOSITIVI DI RITENUTA

ALLEGATO 1 - RELAZIONE SUI MATERIALI

1. Calcestruzzo armato

Tutti i materiali da adoperare dovranno essere di ottima qualità e dovranno essere messi in opera con ogni cura.

Le **strutture in fondazione** si considerano in classe di esposizione XC2; per il calcestruzzo impiegato nei getti si prescrive un diametro massimo dell'inerte pari a 22.4 mm, e una classe di consistenza S4.

Controllo di accettazione (D.M. 17/01/2018 § 11.2.5 Tab. 11.2.I): tipo A

Tab. 11.2.I

Controllo di tipo A	Controllo di tipo B
$R_{c,min} \geq R_{ck} - 3,5$	
$R_{cm28} \geq R_{ck} + 3,5$ (N° prelievi: 3)	$R_{cm28} \geq R_{ck} + 1,48 s$ (N° prelievi ≥ 15)
Ove: R_{cm28} = resistenza media dei prelievi (N/mm ²); $R_{c,min}$ = minore valore di resistenza dei prelievi (N/mm ²); s = scarto quadratico medio	

8.1 Componenti del calcestruzzo e loro modalità di posa

Dovranno essere usati:

LEGANTI, AGGREGATI ED INERTI

Leganti per il calcestruzzo: devono impiegarsi esclusivamente i leganti idraulici previsti dalle disposizioni vigenti in materia, dotati di certificato di conformità e rispondenti alla norma armonizzata UNI EN 197, purché idonei all'impiego previsto nonché, per quanto non in contrasto, conformi alle prescrizioni di cui alla Legge 26/05/1965 n. 595.

Aggregati per il calcestruzzo: rispondenti alle prescrizioni di cui alla UNI EN 12620 e per gli aggregati leggeri, alla norma europea armonizzata UNI EN 13055-1.

Inerti naturali o di frantumazione: costituiti da elementi non gelivi e non friabili, privi di sostanze organiche, limose o argillose, in proporzioni nocive all'indurimento del conglomerato ed alla conservazione delle armature metalliche;

Ghiaia o pietrisco: di dimensioni massime commisurate alle caratteristiche della carpenteria, del getto ed all'ingombro delle armature metalliche;

ACQUA

Acqua: (conforme alle Norme UNI EN 1008/2003) limpida, priva di sali in percentuali dannose, non aggressiva e in quantità strettamente necessaria;

ADDITIVI

Additivi: devono essere conformi alla Norma europea armonizzata UNI EN 934-2.

8.2 Durabilità: classe di esposizione e copriferro

Per garantire la durabilità della struttura sono state prese in considerazioni opportuni stati limite di esercizio (SLE) in funzione dell'uso e dell'ambiente in cui la struttura dovrà vivere limitando sia gli stati tensionali, che nel caso delle opere in calcestruzzo, anche l'ampiezza delle fessure.

Inoltre per garantire la durabilità, così come tutte le prestazioni attese, è necessario che si ponga adeguata cura sia nell'esecuzione che nella manutenzione e gestione della struttura e si utilizzino tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

Durante le fasi di costruzione il direttore dei lavori adotterà le previste procedure di controllo sulla qualità dei materiali, sulle metodologie di lavorazione e sulla conformità delle opere eseguite al progetto esecutivo nonché alle prescrizioni contenute nelle NTC2018.

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, le condizioni ambientali possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III con riferimento alle classi di esposizione definite nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nonché nella UNI EN 206:2016

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Con riferimento al § 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato in Tabella C4.1.IV. I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm. Per classi di resistenza inferiori a C_{min} i valori della tabella sono da aumentare di 5 mm. Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di 5 mm.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_o	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

La classe di resistenza minima C_{min} indicata in tabella deve comunque intendersi riferita alla pertinente classe di esposizione di cui alla UNI EN 206:2016 richiamata nella Tabella 4.1.III delle NTC.

9 Acciaio per cemento armato

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili qualificati secondo le procedure di cui al § 11.3.1.2 e controllati con le modalità riportate nel § 11.3.2.11 delle NTC2018.

9.1 Acciaio in barre B450C

L'acciaio in barre deve rispettare le seguenti caratteristiche:

Tab. 11.3.Ib

Caratteristiche	Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y\text{ nom}}$	5.0
Tensione caratteristica a carico massimo f_{tk}	$\geq f_{t\text{ nom}}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
	$< 1,35$	
$(f_y/f_{y\text{ nom}})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7,5\%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12\text{ mm}$	4 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16\text{ mm}$	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25\text{ mm}$	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40\text{ mm}$	10 ϕ	

10 Acciaio per armatura tubolari

Per gli acciai di cui alle norme europee armonizzate UNI EN 10025, UNI EN 10210-1 ed UNI EN 10219-1, si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} riportati nelle tabelle seguenti.

Tab. 4.2.II - Laminati a caldo con profili a sezione cava

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale "t" dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]	f_{yk} [N/mm²]	f_{tk} [N/mm²]
UNI EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		
S460 NH/NHL	460	550		

11 Malta per iniezioni pali

Si prevede l'impiego di malta antiritiro iniettata a mezzo di gruppo miscelatore, dosata a t. 0,6 di cemento R32.5R per mc di sabbia vagliata.

Resistenza minima: C20/25.

12 Valori di calcolo

Si riportano di seguito i valori caratteristici e di calcolo delle resistenze impiegati.

Calcestruzzo C25/30

Calcestruzzo		C25/30	
Res. Caratteristica cilindrica	f_{ck}	25	N/mm ²
Res. Caratteristica cubica	R_{ck}	30	N/mm ²
Coeff. Riduttivo per resistenze lunga durata	α_{cc}	0,85	-
Coeff. Parziale di sicurezza cls	γ_c	1,50	-
Res. Cilindrica di progetto	f_{cd}	14,17	N/mm ²
Res. Media cilindrica	f_{cm}	33,00	N/mm ²
Modulo elastico istantaneo	E_c	31.476	N/mm ²

Acciaio B450C

Acciaio		B450C	
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540	N/mm ²
Coeff. Parziale di sicurezza acciaio	γ_s	1,15	-
Tensione di snervamento di progetto	f_{yd}	391,30	N/mm ²
Modulo elastico	E_s	210.000	N/mm ²

Acciaio S355

Acciaio		S355	
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	355	N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	510	N/mm ²
Coeff. Parziale di sicurezza acciaio	γ_s	1,05	-
Tensione di snervamento di progetto	f_{yd}	338,10	N/mm ²
Modulo elastico	E_s	210.000	N/mm ²

ALLEGATO 2 - RELAZIONE SUI DISPOSITIVI DI RITENUTA

1. Premesse

La presente relazione riguarda l'installazione di nuovi sistemi di protezione lungo la SP 51.

Allo stato attuale le strade presentano delimitazioni marginali vetuste o danneggiate, pertanto si prevede l'installazione o la sostituzione, ove già presente, di nuovi sistemi di ritenuta, al fine di migliorare le condizioni di sicurezza della strada.

Riferimenti normativi:

- D.M. 18 febbraio 1992 n. 223 – Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza.
- Circolare 9 giugno 1995, n. 2595 – Barriere stradali di sicurezza. Decreto ministeriale 18 febbraio 1992, n. 223.
- D.M. 15 ottobre 1996 – Aggiornamento del decreto ministeriale 18 febbraio, n.223, recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione, e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza.
- D.M. 3 giugno 1998 – ulteriore aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e delle prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione.
- D. M. 11 giugno 1999 – Integrazioni e modificazioni al decreto ministeriale 3 giugno 1998, recante: "Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza".
- D.M. 21 giugno 2004, n. 2367 – Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale.
- Direttiva 25 agosto 2004, n. 3065 – Criteri di progettazione, installazione, verifica, e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali.
- Circolare 21 Luglio 2010 n° 62032 - Uniforme applicazione delle norme in materia di progettazione, omologazione e impiego dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali.
- DM 28.06.2011 (Gun. 233 del 06.10.2011) – Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale.
- D. Lgs. n. 285/92 e s.m.i. – Nuovo codice della Strada.
- D.P.R. n. 495/92 e s.m.i. – Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada.
- D.M. 5 novembre 2001, n. 6792. – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.
- D.M. 1° Aprile 2019 n. 114 - Dispositivi stradali di sicurezza per i motociclisti (DSM)
- Norme Europee UNI EN1317-1,2,3,4,5, UNI 10809:1999, UNI CEN/TS 1317-8

Secondo quanto indicato del DM 223/92 e s.m.i le zone da proteggere devono riguardare almeno:

- I margini di tutte le opere d'arte all'aperto quali ponti, viadotti, ponticelli, sovrappassi e muri di sostegno della carreggiata, indipendente dalla loro estensione longitudinale e dall'altezza del piano di campagna;
- Lo spartitraffico, ove presente;
- Il margine laterale stradale delle sezioni in rilevato dove il dislivello tra il colmo dell'arginello ed il piano campagna è maggiore o uguale a 1m; la protezione è necessaria per tutte le scarpate aventi pendenza maggiore o uguale a 2/3. Nei casi in cui la pendenza della scarpata sia inferiore a 2/3, la necessità di protezione dipende dalla combinazione della pendenza e dell'altezza della scarpata, tenendo conto delle situazioni di potenziale pericolosità a valle della scarpata
- Gli ostacoli fissi (frontali o laterali) che potrebbero costituire un pericolo per gli utenti della strada in caso di urto, quali pile di ponti, rocce affioranti, opere di drenaggio non attraversabili, alberature, pali di illuminazione e supporti per la segnaletica non cedevoli, corsi d'acqua, ecc, ed i manufatti, quali edifici pubblici o privati, scuole, ospedali ecc, che in caso di fuoriuscita o urto dei veicoli potrebbero subire dei danni comportando quindi pericolo anche per i non utenti della strada.

Si sottolinea inoltre, come riportato dalla Circolare n.62032 del 21/07/2010, che gli interventi di manutenzione straordinaria finalizzati all'adeguamento dei dispositivi di ritenuta a più elevati standard di sicurezza non possono essere ritenuti "ripristinati di danni localizzati" e rientrano, pertanto, nel campo di applicazione della norma, indipendentemente dalla loro estensione.

Secondo quanto indicato dal DM 223/92 e s.m.i è necessario il progetto esecutivo della barriera nei seguenti casi:

- costruzione di nuovi tronchi stradali urbani ed extraurbani con velocità di progetto maggiore o uguale a 70 km/ora;
- adeguamento di tratti significativi di tronchi stradali esistenti (con velocità di progetto maggiore o uguale a 70 km/ora);
- ricostruzione e riqualificazione di parapetti di ponti e viadotti (la norma specifica che tali opere devono avere una luce maggiore di 10 m).

La scelta dei dispositivi di ritenuta deve avvenire tenendo dell'ubicazione, delle caratteristiche geometriche e di traffico dell'infrastruttura, secondo le seguenti tabelle di indicazione per la definizione del tipo di traffico e del tipo di barriera longitudinale:

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa >3,5 t
I	≤1000	Qualsiasi
I	>1000	≤ 5
II	>1000	5 < n ≤ 15
III	>1000	> 15

Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte ⁽¹⁾
Autostrade (A) e strade extraurbane principali(B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 ⁽²⁾	H2-H3 ⁽²⁾	H3-H4 ⁽²⁾
Strade extraurbane secondarie(C) e Strade urbane di scorrimento (D)	I	H1	N2	H2
	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali(F).	I	N2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

(1) Per ponti o viadotti si intendono opere di luce superiore a 10 metri; per luci minori sono equiparate al

bordo laterale (2) La scelta tra le due classi sarà determinata dal progettista

La norma specifica che la destinazione “Barriere bordo ponte” si riferisce solo ad opere di luce superiore ai 10 m; per luci minori sono equiparate al bordo laterale, indipendente dalla loro altezza sul piano campagna. I muri di sostegno sono da equiparare al bordo laterale, indipendentemente dall'altezza sul piano campagna e dalla loro estensione. Prescrive inoltre che i muri e le opere d'arte (quali cordoli), indipendentemente dall'altezza sul piano campagna e dalla loro estensione, siano protetti da barriere di classe non inferiore ad H2.

Per quanto concerne la lunghezza del tratto, nel progettare l'installazione dei dispositivi sui muri di sostegno posti a lato della carreggiata, si è stabilito che se la lunghezza del tratto e del cordolo di supporto risulta superiore alla lunghezza minima di installazione (variabile a seconda del certificato di omologazione), l'installazione della barriera avverrà normalmente per tutto lo sviluppo previsto. In caso la lunghezza del tratto del cordolo di supporto sia inferiore alla lunghezza minima di installazione e risulti impossibile procedere all'estensione dell'installazione fino al raggiungimento della lunghezza minima per ragioni morfologiche e geometriche, si provvederà ad una valutazione del tratto minimo necessario ad assorbire le azioni dell'urto più probabile (si vedano le valutazioni statiche sotto riportate) e, in fase esecutiva si provvederà, se compatibile con i vincoli geometrici e morfologici del sito di intervento, ad ancorare convenientemente le estremità della barriera ai manufatti esistenti.

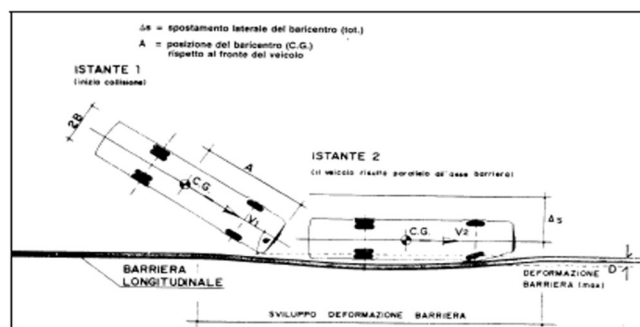
2. Valutazioni statiche

La **SP 51** è una strada provinciale storica appartenenti alla classe “strada locale (F)” secondo la classificazione del D.Lgs 285/92.

Dato che le nuove barriere di protezione saranno installate su cordoli, e visto quanto indicato dalla norma, verranno installate barriere di tipo H2 Bordo Laterale. Tali tipologie sono in grado di mantenere un adeguato livello di sicurezza nelle condizioni di rischio più probabile e di rischio maggiore, come di seguito riportato.

La forza dell'urto di un veicolo contro una barriera è valutabile secondo la formula sotto riportata:

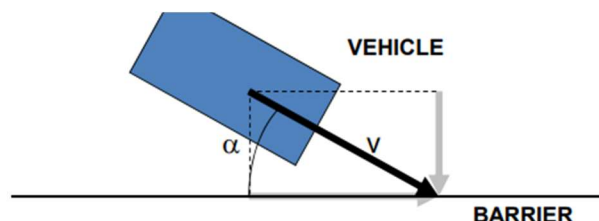
$$F = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{M \cdot (v \cdot \sin \alpha)^2}{2 \cdot [c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + s]}$$



Modello di funzionamento del binomio veicolo-barriera durante l'urto

Il corrispondente livello di contenimento della barriera è così valutabile:

$$L_c = \frac{1}{2} M (v \cdot \sin \alpha)^2$$



Per la valutazione dell'urto nella situazione di **rischio più probabile** si è considerata l'azione derivante dall'urto di un mezzo leggero (1,50 ton) ad una velocità di percorrenza ammissibile di 60 km/h e un angolo di impatto pari a 20° e nell'ipotesi che la barriera sia indeformabile. In queste condizioni la forza d'urto sulla barriera stimata è pari a:

$$F = 47,38 \text{ kN}$$

Il livello di contenimento è pari a

$$L_c = 24 \text{ kJ}$$

garantito dal dispositivo di **classe H2**.

Per la valutazione dell'urto nella situazione di **rischio maggiore** si è considerata l'azione derivante dall'urto di un mezzo pesante (30 ton) ad una velocità di 35 km/h, con un angolo di incidenza pari a 20° e nell'ipotesi che la barriera sia indeformabile. In queste condizioni la forza d'urto sulla barriera stimata è pari a:

$$F = 155,66 \text{ kN}$$

Il livello di contenimento è pari a

$$L_c = 166 \text{ kJ}$$

ottenibile con un dispositivo di **classe H2**.

Si considera che tale azione sia posta ad un'altezza pari a 0,50 m da piano viario e che agisca sul sistema rigido cordolo+barriera per uno sviluppo di 13 m, pertanto per ogni metro lineare di struttura si avranno le seguenti sollecitazioni:

$$F_{urto} = 11,97 \text{ kN/m}$$

$$M_{urto} = 5,99 \text{ kNm/m}$$

Come dimostrato nella relazione di calcolo la struttura dei cordoli a progetto sono in grado di resistere a tali azioni.

Si riporta infine la verifica dell'ancoraggio del montante, la cui geometria è stata stabilita valutando le schede tecniche delle barriere e le piastre e i tirafondi in commercio, ipotizzando un interasse dei montanti pari a 2,00 m.

Le sollecitazioni sul singolo montante saranno pari a:

$$V_{Ed} = 23,95 \text{ kN}$$

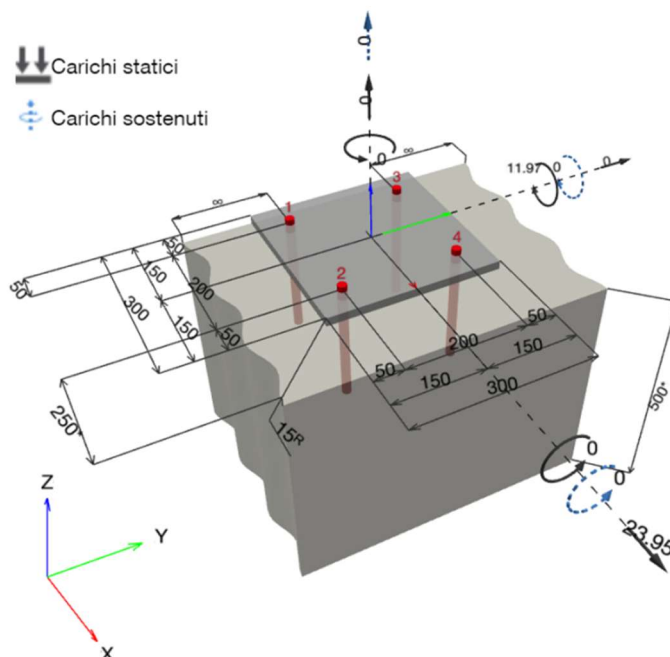
$$M_{Ed} = 11,97 \text{ kNm}$$

1 Dati da inserire

Tipo e dimensione dell'ancorante:	HIT-RE 500 V3 + AM (8.8) M16
Periodo di ritorno (durata in anni):	50
Codice articolo:	407499 AM 8.8 M16x1000 (inserire) / 2123403 HIT-RE 500 V3 (composto indurente)
Profondità di posa effettiva:	$h_{ef,act} = 200,0 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = - \text{ mm}$)
Materiale:	8.8
Certificazione No.:	ETA 16/0143
Emesso l Valido:	14/05/2019 -
Prova:	metodo di calcolo EN 1992-4, chimica
Fissaggio distanziato:	$e_b = 0,0 \text{ mm}$ (Senza distanziamento); $t = 15,0 \text{ mm}$
Piastra d'ancoraggio ^R :	$l_x \times l_y \times t = 300,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 15,0 \text{ mm}$; (Spessore della piastra raccomandato: non calcolato)
Profilo:	nessun profilo
Materiale base:	non fessurato calcestruzzo, C25/30, $f_{c,cyl} = 25,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 500,0 \text{ mm}$, Temp. Breve/Lungo: 0/0 °C, Coefficiente parziale di sicurezza materiale definito dall'utente $\gamma_c = 1,500$



Geometria [mm] & Carichi [kN, kNm]



2 Condizione di carico/Carichi risultanti sull'ancorante

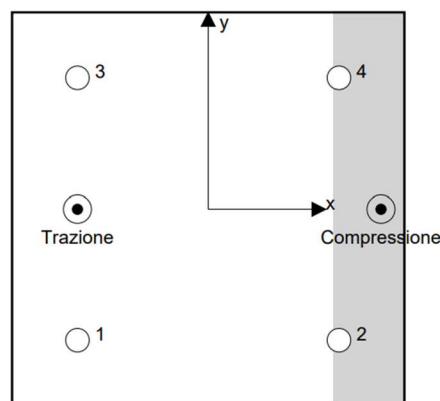
Carichi sull'ancorante [kN]

Trazione: (+ Trazione, - Compressione)

Ancorante	Trazione	Taglio	Taglio in dir. x	Taglio in dir. y
1	25,784	5,987	5,987	0,000
2	0,000	5,987	5,987	0,000
3	25,784	5,987	5,987	0,000
4	0,000	5,987	5,987	0,000

Compressione max. nel calcestruzzo: 0,21 [‰]
 Max. sforzo di compressione nel calcestruzzo: 6,41 [N/mm²]
 risultante delle forze di trazione nel (x/y)=(-100,0/0,0): 51,568 [kN]
 risultante delle forze di compressione (x/y)=(132,1/0,0): 51,568 [kN]

Le forze di ancoraggio vengono calcolate presupponendo una piastra di ancoraggio rigida.



3 Carico di trazione (EN 1992-4, sezione 7.2.1)

	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo β_N [%]	Stato
Rottura dell'acciaio*	25,784	83,733	31	OK
Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento**	51,568	75,898	68	OK
Rottura conica del calcestruzzo**	51,568	60,497	86	OK
Fessurazione**	51,568	83,439	62	OK

*ancorante più sollecitato **gruppo di ancoranti (ancoranti sollecitati)

3.1 Rottura dell'acciaio

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
125,600	1,500	83,733	25,784

3.2 Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento

$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{p,N}^0$ [mm ²]	$\tau_{Rk,ucr,20}$ [N/mm ²]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	c_{min} [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]
198.196	231.918	17,00	481,6	240,8	50,0	25,00
ψ_c	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm ²]	k_3	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm ²]	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$	
1,023	17,38	11,000	15,47	1,000	1,000	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	0,762	1,000	
ψ_{sus}^0	α_{sus}	ψ_{sus}				
0,880	0,000	1,000				
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Ed} [kN]		
174,759	113,847	1,500	75,898	51,568		

ID gruppo ancoranti

1, 3

3.3 Rottura conica del calcestruzzo

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]		
280.000	360.000	300,0	600,0	25,00		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0,0	1,000	0,0	1,000	0,750	1,000	
z [mm]	$\psi_{M,N}$	k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
232,1	1,000	11,000	155,563	1,500	60,497	51,568

ID gruppo ancoranti

1, 3

3.4 Fessurazione

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,sp}$ [mm]	$s_{cr,sp}$ [mm]	$\psi_{h,sp}$	$f_{c,cyl}$ [N/mm ²]	
150.000	160.000	200,0	400,0	1,107	25,00	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
0,0	1,000	0,0	1,000	0,775	1,000	11,000
$N_{Rk,sp}^0$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Ed} [kN]			
155,563	1,500	83,439	51,568			

ID gruppo ancoranti

1, 3

4 Carico di taglio (EN 1992-4, sezione 7.2.2)

	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo β_V [%]	Stato
Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)*	5,987	50,240	12	OK
Rottura dell'acciaio (con braccio di leva)*	N/A	N/A	N/A	N/A
Rottura per pryout**	23,950	172,848	14	OK
Rottura del bordo del calcestruzzo in direzione x+**	23,950	69,175	35	OK

*ancorante più sollecitato **gruppo di ancoranti (ancoranti specifici)

4.1 Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)

$V_{Rk,s}^0$ [kN]	k_7	$V_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
62,800	1,000	62,800	1,250	50,240	5,987

4.2 Rottura per pryout (cono del calcestruzzo)

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k_8	$f_{c,oyl}$ [N/mm ²]	
400.000	360.000	300,0	600,0	2,000	25,00	
$e_{c1,V}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	$\psi_{M,N}$
0,0	1,000	0,0	1,000	0,750	1,000	1,000
k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Ed} [kN]		
11.000	155,563	1,500	172.848	23.950		

ID gruppo ancoranti

1-4

4.3 Rottura del bordo del calcestruzzo in direzione x+

l_f [mm]	d_{nom} [mm]	k_g	α	β	$f_{c,cr}$ [N/mm ²]
192,0	16,00	2,400	0,088	0,058	25,00
c_1 [mm]	$A_{c,V}$ [mm ²]	$A_{c,V}^0$ [mm ²]			
250,0	356.250	281.250			
$\psi_{s,V}$	$\psi_{h,V}$	$\psi_{a,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\psi_{ec,V}$	$\psi_{re,V}$
1,000	1,000	1,000	0,0	1,000	1,000
$V_{Rk,c}^0$ [kN]	k_T	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]	
81.918	1.0	1.500	69.175	23.950	

5 Carichi combinati di trazione e di taglio (EN 1992-4, sezione 7.2.3)

Rottura dell'acciaio

β_N	β_V	α	Utilizzo $\beta_{N,V}$ [%]	Stato
0,308	0,119	2,000	11	OK

$$\beta_N^a + \beta_V^a \leq 1,0$$

Rottura del calcestruzzo

β_N	β_V	α	Utilizzo $\beta_{N,V}$ [%]	Stato
0,852	0,346	1,500	100	OK

$$\beta_N^a + \beta_V^a \leq 1,0$$

L'ancoraggio risulta pertanto verificato.