

Comune di PESCIA

Servizio Lavori Pubblici - U.O. Strade

LAVORI DI RIDUZIONE E MESSA IN SICUREZZA DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN LOCALITA' COLLODI-CASTELLO - 2° LOTTO FUNZIONALE -

PROGETTO ESECUTIVO

Venturi & Motta

Studio Tecnico Associato

PROGETTISTA e DLL :

Dott. Ing. Valentino Venturi

VENTURI & MOTTA - Studio Tecnico Associato
ingegneri Valentino Venturi e Simone Motta

Via Casello, 69/a - 51031 Agliana (PT)

Tel./Fax 0574 710052

cod. fisc. - P. IVA: 01534280472 e-mail: valentino@venturimotta.it

03					
02					
01	20/03/2020	DEFINITIVO	Ing. Venturi V.	Ing. Venturi V.	Ing. Venturi V.
Revisione	Data emissione o aggiornamento	Note	Redatto da :	Controllato da :	Approvato da :
Denominazione: Relazione tecnica strutture Relazione dei materiali Relazione di calcolo				Elaborato: 15	
				Codice Progetto:	Data :
				20200207	20/03/2020
relazione di calcolo.doc					

1. - DESCRIZIONE INTERVENTO

Il progetto riguarda l'esecuzione di lavori di riduzione e di messa in sicurezza di dissesto/i idrogeologico/i verificatosi in località Collodi-Castello. Il presente rappresenta il proseguimento delle opere eseguite negli anni 2010-2011 con un primo Lotto di lavori.

Con tale primo Lotto era stato provveduto al risanamento di varie situazioni di dissesto presenti lungo la viabilità comunale (Via don Eugenio d'Alessandro e Via VIII Marzo) a monte del Cimitero di Collodi (Cimitero di San Martino).

Con il presente secondo Lotto l'attenzione viene spostata principalmente sull'area cimiteriale e su un tratto di Via VIII Marzo posto a circa ml. 180-200 a monte dell'ultimo tornante a salire verso Collodi-Castello.

Le opere strutturali previste nel presente progetto di secondo Lotto sono di seguito descritte.

a) Area Cimitero di San Martino.

I dissesti verificatisi in quest'area riguardano la porzione di terreno a monte del Cimitero e la parte alta del Cimitero stesso. Questa zona è interessata da un movimento franoso di tipo lento che ha provocato lesioni su alcuni muri interni ed esterni, sulle pavimentazioni e su altre opere d'arte, con spostamenti verso valle e rotazione di alcune strutture murarie.

Si rileva espressamente che il presente progetto è finalizzato esclusivamente alla messa in sicurezza dell'area nei confronti del movimento franoso.

Esula pertanto dalle finalità del progetto e dai relativi limiti finanziari l'eventuale esecuzione dei lavori di risanamento, ristrutturazione e sistemazione dei vari blocchi ed arcate loculi, delle cappelle gentilizie e delle altre strutture murarie, presenti nell'area cimiteriale, per i quali potrà essere provveduto tramite altro specifico studio.

Le principali opere previste sono di seguito descritte.

Intervento n. 1.

Rappresenta il principale intervento di messa in sicurezza dell'area cimiteriale nei confronti del movimento franoso e verrà realizzato immediatamente a tergo della Cappella Scaglietti-Arcangeli esistente a monte dell'area cimiteriale vera e propria.

Questo intervento è costituito da un diaframma di micropali del diametro di mm. 200 e della lunghezza di ml. 12,00, collegati in testa da un cordolo in c.a. a sua volta ancorato agli orizzonti stabili con una serie di tiranti attivi. La lunghezza prevista per quest'opera è pari a ml. 24,20.

Sopra il cordolo verrà ricostruito il muretto di recinzione di delimitazione dell'area della Cappella Scaglietti-Arcangeli nelle forme e dimensioni attuali (muretto in c.a., copertina in coppi ed embrici murati paramento interno intonacato e tinteggiato, sovrastante recinzione in rete plastificata e paletti metallici).

Parallelamente al diaframma di cui sopra si prevede di realizzare una trincea drenante (profondità circa ml. 3,00 - lunghezza ml. 34,00) per intercettare ed abbassare in modo significativo la falda, che, nella zona a monte del Cimitero, si attesta attualmente a profondità ridotte (circa ml. 1,00-1,50).

Tenuto conto dell'area di intervento si prevede di realizzare la trincea mediante l'utilizzo di pannelli prefabbricati drenanti ad alte prestazioni idraulico-meccaniche in alternativa al classico sistema di drenaggio basato su materiali inerti abbinati a tubi dreno e geotessuto. In questo modo il rinterro della trincea potrà essere eseguito riutilizzando il materiale scavato, senza necessità di dover provvedere ad invasive ed onerose operazioni di carico e scarico.

Le acque raccolte con la trincea verranno convogliate nell'esistente fognatura pluviale di Via del Cimitero mediante un apposito nuovo tratto di tubazione dotato di adeguati pozzetti di ispezione.

Interventi n. 2 e 5.

A presidio e contenimento dei blocchi loculi posti nella parte alta a nord-est dell'area cimiteriale si prevede la realizzazione di diaframmi di micropali verticali del diametro di mm. 130 e lunghezza di ml. 7,00, subito a valle ed in aderenza a tali blocchi loculi.

I micropali saranno posti su un'unica fila e saranno collegati in testa da un cordolo in c.a..

Nel caso dell'Intervento 5, sopra il cordolo di base, verrà anche realizzata una lama verticale in elevazione, sempre in c.a., a diretto contatto con il paramento posteriore del blocco loculi di valle per meglio contrastare eventuali rotazioni del blocco stesso.

La lunghezza prevista per l'Intervento 2 è pari a ml. 9,10, mentre quella dell'Intervento 5 è pari a ml. 8,60.

Scopo di questi diaframmi è duplice: dare, assieme alle micropalificate di cui ai successivi Interventi 3 e 4, un contenimento alla parte bassa del corpo in frana e impedire/limitare eventuali spostamenti/rotazioni/scivolamenti verso valle dei due blocchi loculi.

Intervento 3.

L'attuale muretto posto nel tratto centrale della parte alta dell'area cimiteriale al piede della scarpata a valle della cappella Scaglietti - Arcangeli è fortemente lesionato e pertanto in progetto si prevede la sua demolizione e la costruzione di un più consistente muro in c.a. con blocco di base ancorato agli orizzonti stabili con una serie di micropali verticali del diametro di mm. 130 e lunghezza di ml. 7,00 e con n. 3 tiranti attivi.

La lunghezza prevista per quest'opera è pari a ml. 7,60.

Interventi 4 e 6.

L'esistente muro identificato nei disegni di progetto come "Intervento 6" è posto immediatamente a valle di una serie di tombe.

Il muro ha uno spessore di cm. 30 ed un'altezza di circa ml. 3,30, anche se il dislivello tra i piani cimiteriali posti ai suoi due lati è pari a soltanto ml. 1,50 circa.

Il muro ha una struttura in conglomerato cementizio, anche se localmente sono presenti alcuni innesti (probabilmente posticci) di elementi murari vari. Non è conosciuta la geometria del muro, né della sua fondazione, in quanto la sua posizione non ha reso possibile l'esecuzione di saggi conoscitivi, né è stata ritrovata nessuna documentazione in merito presso gli uffici comunali.

Dalle evidenze visive si può presumere che nella struttura in cls del muro sia presente solo un'armatura di scarsa qualità e quantità.

Presso l'estremità nord-est del muro è presente un'evidente lesione verticale, di cui in progetto è prevista la risarcitura.

Sulla base dei dati ed informazioni che è stato possibile reperire sulla natura e caratteristiche del muro sono stati previsti i sotto riportati interventi di riduzione delle possibili instabilità a cui il muro stesso potrebbe essere soggetto.

Il tutto compatibilmente con la necessità di salvaguardare tutte le tombe esistenti poste superiormente a contatto con paramento del muro.

Stante ciò in progetto si prevede l'abbassamento del muro in sommità per circa ml. 0,80 e la messa in opera di n. 3 tiranti in acciaio $\phi 20$ agganciati al cordolo dei micropali dell'intervento 4.

Questi tre tiranti saranno posti in opera all'interno di apposite tracce create all'interno del piano cimiteriale alto e quindi essi verranno a posizionarsi ad un'altezza di circa ml. 1,30 rispetto al piano basso. Essi avranno il compito di ridurre la possibilità del formarsi di cinatismi e/o meccanismi locali.

I tre tiranti vengono ancorati ad alcuni micropali da realizzare all'interno del piano cimiteriale alto.

Su suggerimento del Geologo, invece di creare tre elementi puntuali di ritegno, si prevede la realizzazione di un diaframma continuo di micropali, collegati in testa da un'adeguato cordolo in c.a. (Intervento 4), che così, oltre a ritegno puntuale ai tre tiranti, potrà anche svolgere funzioni di presidio e consolidamento della parte di scarpata presente a monte.

Per questo Intervento 4 si prevede l'esecuzione di micropali verticali del diametro di mm. 130 e della lunghezza di ml. 7,00, posti su due file a quinconce. La lunghezza prevista per l'Intervento 4 è pari a ml. 13,20.

Intervento 7.

Su un tratto del muro perimetrale in c.a. di recinzione sul lato nord-ovest della lunghezza di circa ml. 8,50 sono presenti alcune lesioni verticali tali da far ritenere necessaria l'esecuzione di interventi di consolidamento/risanamento. A tal fine si prevede di provvedere al consolidamento/risanamento di questo tratto di muro mediante la realizzazione di betoncino a tutta altezza sui due paramenti del muro, armato con rete elettrosaldata e con connettori metallici di collegamento trasversale.

La lunghezza prevista per l'Intervento 7 è pari a ml. 8,50.

Intervento 8.

A valle del muro perimetrale nord-ovest in c.a. di cui al precedente Intervento 7 è presente un muretto di delimitazione dell'area cimiteriale di altezza limitata, mediamente pari a circa ml. 1,50.

Esso ha una struttura in muratura (principalmente di pietrame) e si trova tutto sommato in buone condizioni, salvo il primo tratto di monte (subito a valle dell'Intervento 7) che risulta fortemente lesionato per una lunghezza di ml. 3,20. In progetto si prevede la demolizione dell'attuale muro in questo tratto fortemente lesionato e la costruzione, in sostituzione, di una nuova struttura in c.a. nelle stesse forme e dimensioni (in particolare verrà ricostruita la copertina nelle forme materiali attuali ed entrambi i paramenti verranno intonacati e tinteggiati).

La nuova struttura verrà impostata su un cordolo di base in c.a. stabilizzato con n. 6 micropali verticali del diametro di mm. 130 e della lunghezza di ml. 7,00, in modo da creare un robusto elemento di ritegno (una sorta di contrafforte) al tratto di muro perimetrale presente subito a monte da consolidare con l'intervento 7 nei confronti di suoi eventuali spostamenti/scivolamenti verso valle.

La demolizione del muretto esistente e la realizzazione della nuova struttura comporterà anche la necessità di provvedere alla ricostruzione del vecchio canaletto di guardia esterno.

Questo canaletto è presente in pratica su tutto il lato nord-ovest dell'area cimiteriale ed è costituito da fondo e pareti in muratura. In progetto è prevista la sua completa ripulitura, la sua ristrutturazione/ricostruzione nei tratti dissestati, nonché la sua stuccatura interna (anche con chiusura delle brecce attualmente presenti) per ripristinarne l'impermeabilità ed evitare l'infiltrazione e dispersione delle acque meteoriche.

Ricostruzione/potenziamento reticolo di raccolta acque meteoriche.

L'attuale reticolo di raccolta delle acque meteoriche all'interno della parte dell'area cimiteriale (zona oggetto di studio) risulta carente e poco efficiente. In progetto si prevede il suo potenziamento (con parziale ricostruzione dei tratti destrutturati) mediante messa in opera di nuovi tratti di tubazione in pvc ϕ 160-200 con giunto a bicchiere ed anello elastomerico, SN8, e relative caditoie di raccolta dotate di griglie in ghisa B125 del tipo antitacco.

b) Via VIII MARZO.

Come già accennato, il primo Lotto di lavori (eseguito negli anni 2010-2011) è stato finalizzato al risanamento di varie situazioni di dissesto presenti lungo la viabilità comunale (Via don Eugenio d'Alessandro e Via VIII Marzo) a monte del Cimitero di Collodi (Cimitero di San Martino).

Nel presente progetto di secondo lotto è previsto il risanamento di un tratto stradale di VIII Marzo (non interessato dagli interventi eseguiti con il primo lotto) posto a circa ml. 180-200 a monte dell'ultimo tornante a salire verso Collodi-Castello, ove si è manifestato un abbassamento della porzione di valle della sede stradale per una lunghezza di circa ml. 16,00-18,00.

Per il consolidamento di questo dissesto si prevede la costruzione di un diaframma di micropali del diametro di mm. 200 sul lato valle della strada; micropali armati con tubolare del diametro di mm. 139,7x10 e della lunghezza di ml. 8,00, disposti su due file a quinconce all'interasse complessivo di ml. 0,60.

I micropali sono collegati in testa da un cordolo in c.a. massivo; questo cordolo è a sua volta dotato di una piccola parte a sbalzo, sempre in c.a., in modo da ampliare l'attuale limitata larghezza stradale a circa ml. 3,20.

Il presente progetto strutturale è basato sui risultati dello studio geologico e sulle considerazioni ed indicazioni riportate nella relativa Relazione.

Per maggior chiarezza di esposizione, possono essere visionati i progetti architettonici ed esecutivi allegati all'istanza di deposito.

2. - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018);
- Circolare n. 7 del 21.01.2019 C.S.LL.PP.: "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018".

- Vita nominale $V_N = 50$ anni Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso $C_U = 1$ Periodo di riferimento $V_R = 50$ anni

Stato limite di salvaguardia della vita (SLV):

- tempo di ritorno = 475 anni
- latitudine sito = 43,90 - longitudine sito = 10,658
- $a_g = 0,137$ $F_0 = 2,423$ $T_c^* = 0,29$
- categoria topografica: T2 $S_T = 1,20$
- categoria del sottosuolo: E $S_S = 1,60$ $S = S_S \times S_T = 1,92$

3. - CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali da utilizzare sono i seguenti:

- Conglomerato cementizio C32/40;
- Acciaio per cemento armato B450C;
- Tubolari micropali in acciaio S 355;
- Trefoli tiranti in acciaio armonico con $F_{ptk} = N/mmq. 1.860.$

Le caratteristiche meccaniche per questi materiali sono le seguenti:

a) Conglomerato cementizio C32/40:

- $f_{ck} = N/mmq. 32$ $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = N/mmq. 18,13$
- $\alpha_{cc} = 0,85$ - $\gamma_c = 1,5$
- diagramma tensione-deformazione: parabola-rettangolo
- $\epsilon_{cu} = 0,35\%$ - $\epsilon_{c2} = 0,2\%$

b) Acciaio B450C:

- $f_{yk} = N/mmq. 450$
- $f_{yd} = 450 / 1,15 = N/mmq. 391,3$
- diagramma tensione-deformazione: elastico-perfettamente plastico indefinito
- coefficiente di omogeneizzazione $n = 15$

c) Acciaio S 355:

- $f_{tk} = N/mm^2. 510$ - $f_{yk} = N/mm^2. 355$
- $f_{yd} = 355 / 1,05 = N/mm^2. 338,1$

d) Trefoli tiranti in acciaio armonico con $F_{ptk} = N/mm^2. 1.860$

Il conglomerato cementizio deve avere inoltre le seguenti caratteristiche:

- Classe di consistenza (abbassamento al cono di Abrams): S4, consistenza fluida, abbassamento (slump) da mm. 160 a 210;
- Classe di esposizione ambientale secondo le norme UNI EN 206/2006: XC4 (ambiente ciclicamente secco e bagnato);
- Diametro massimo dell'inerte = mm. 30 per i blocchi di base e mm. 20 per le strutture in elevazione.

Per tutte le strutture verrà adottato un copriferro minimo di mm. 45, comprensivo della tolleranza di posa di mm. 10.

4. - AREA CIMITERIALE - PROGETTO STRUTTURA INTERVENTO 1

La struttura è rappresentata da un diaframma di micropali verticali del diametro di mm. 200, posti a quinconce su due file all'interasse complessivo di ml. 0,50, armati con tubolari in acciaio di mm. 139,7x10 della lunghezza di ml. 12,00, collegati in testa da un cordolo in c.a., a sua volta ancorato agli orizzonti stabili con una serie di tiranti attivi armati con n. 3 trefoli $\phi 0,6$ " in acciaio armonico, della lunghezza di ml. 15,00 con un bulbo di ancoraggio di ml. 6,00, posti all'interasse massimo di ml. 3,00 ed inclinati sull'orizzontale di 30° .

Il presente dimensionamento è basato sui dati riportati nella Relazione Geologica. In pratica sono adottati i seguenti parametri geomeccanici:

Strato	Parametri strato
1	- Angolo attrito $\phi' = 16^\circ$ (back analysis) - Coesione $C' = daN/cm^2 0,00$ - Peso volume $G = KN/mc 18,0$ - Peso volume saturo $G_s = KN/mc 19,0$
2	- Angolo attrito $\phi' = 29^\circ$ - Coesione $C' = daN/cm^2 0,04$ - Peso volume $G = KN/mc 19,5$ - Peso volume saturo $G_s = KN/mc 20,5$
3	- Angolo attrito $\phi' = 32^\circ$ - Coesione $C' = daN/cm^2 0,05$ - Peso volume $G = KN/mc 20,0$ - Peso volume saturo $G_s = KN/mc 21,5$

Per il calcolo delle azioni sismiche si considerano i seguenti parametri (paragrafo 7.11.6.3 NTC 2018):

- coefficiente di deformabilità $\alpha = 1$
- coefficiente di spostamento $\beta = 1$ (struttura bloccata con tiranti)
- Coefficiente sismico in direzione orizzontale (SLV):
 $K_h = 1 \times 1 \times 1,92 \times 0,137 = 0,263$
- Coefficiente sismico in direzione verticale:
 $k_v = 0,00$ (punto 7.11.6.3.1 NTC - metodi pseudostatici)
- $\theta = \text{arcTan}[k_h / (1+k_v)]$

Le verifiche riportate nel seguito sono svolte con l'Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1), salvo che per lo sfilamento della fondazione del tirante per il quale si utilizzano i coeff. A1+M1+R3.

In condizioni sismiche i coefficienti A1 sono unitari.

Il calcolo della paratia è svolto utilizzando principalmente il coefficiente di spinta attiva di Mononobe & Okabe pari a:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \theta)}{\cos^2(\alpha) \cos(\theta) \cos(\delta + \alpha + \theta) [1 + (\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta) / \cos(\alpha + \delta + \theta) / \cos(\beta - \alpha))^{1/2}]^2}$$

ove:

- α = angolo paramento interno = 0°
- β = angolo pendio = 12°
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 2/3 \phi$

Si ha:

a) Strato 1:

- Angolo d'attrito terreno $\phi' = 16^\circ$ (back analysis)
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 10,7^\circ$
- Coesione $C' = \text{daN/cm}^2$. 0,00
- Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc}$. 18
- Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc}$. 9
- Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,675$

Il coeff. di spinta in condizioni sismiche (SLV) è determinato nel seguito con un metodo grafico, in quanto la formula di Mononobe & Okabe non risulta applicabile con i parametri sopra riportati.

b) Strato 2:

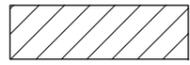
- Angolo d'attrito terreno $\phi' = 29^\circ$
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 19,3^\circ$
- Coesione $C' = \text{daN/cm}^2$. 0,04
- Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc}$. 19,5
- Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc}$. 10,5
- Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,367$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche (SLV) $K_{as} = 0,827$

c) Strato 3:

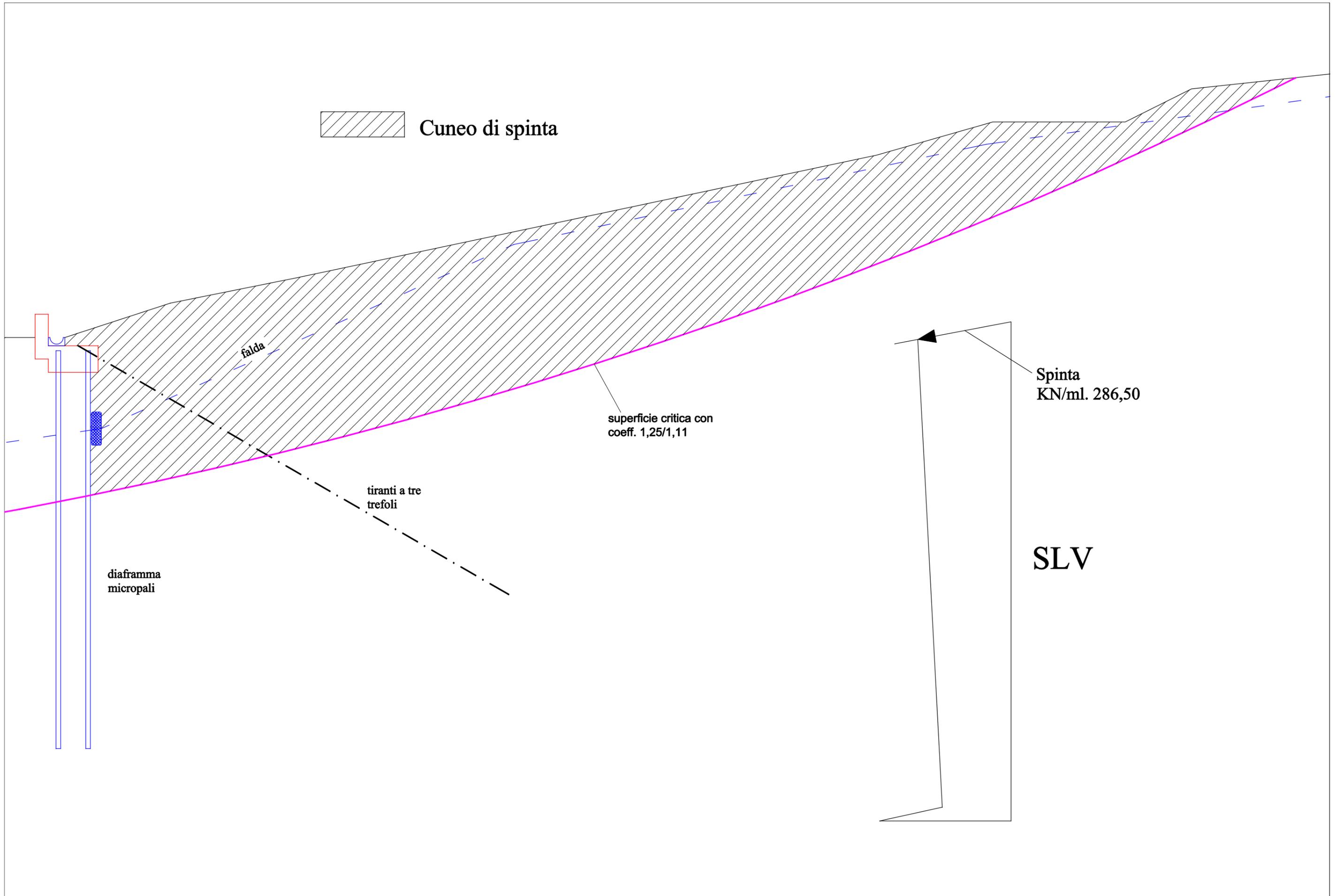
- Angolo d'attrito terreno $\phi' = 32^\circ$
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 21,3^\circ$
- Coesione $C' = \text{daN/cm}^2$. 0,05
- Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc}$. 20,0
- Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc}$. 11,5
- Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,322$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche (SLV) $K_{as} = 0,685$

Dato che la formula di Mononobe & Okabe non risulta applicabile, per determinare il coefficiente di spinta in condizioni sismiche (SLV) dello strato 1 si utilizza un metodo grafico, che consiste nell'individuare il cuneo di spinta mediante la verifica di stabilità globale che permette di determinare la superficie di scivolamento critica e conseguentemente la forza spingente ed il relativo coefficiente di spinta.

Lo schema grafico di calcolo della spinta agente sulla struttura allo SLV è riportato nella pagina seguente.



Cuneo di spinta



falda

superficie critica con
coeff. 1,25/1,11

tiranti a tre
trefoli

diaframma
micropali

Spinta
KN/ml. 286,50

SLV

La spinta determinata allo SLV è pari a KN/ml. 286,50 e ciò equivale a considerare un coefficiente di spinta medio per lo strato 1 pari a 1,384.

Per cogliere l'esatto comportamento della struttura si è studiata l'opera come uno schema unico "a paratia", utilizzando il programma PRO_SAP (licenza PROFESSIONAL build 2011-06-155) della 2S.I. s.r.l., Ferrara.

Gli elementi immersi nel terreno (i micropali) sono schematizzati come travi alla Winkler con costante di sottofondo crescente con la profondità.

La stima di queste costanti di sottofondo è effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

$$- K = A + BxZ^n$$

Dove:

$$- A = Cx(cxN_c + 0,5 \gamma Bn_\gamma) \quad B = C \gamma N_q \quad C = 40 \text{ nel sistema internazionale SI}$$

$$- Z = \text{profondità}$$

$$- n = \pi \tan(\phi)$$

$$- N_q = \exp[n \times \tan^2(45^\circ + \phi/2)] \quad N_c = (N_q - 1) \cot(\phi) \quad N_\gamma = 1,5(N_q - 1) \tan(\phi)$$

A favore di sicurezza, nel primo tratto fino alla profondità di ml. 3,00, si fa l'ipotesi limite di terreno non presente a valle della paratia ed inoltre, per le altre parti di micropalo che attraversano la coltre potenzialmente instabile, le costanti di sottofondo vengono ridotte del 50% per tener conto della potenziale instabilità dello strato.

Le costanti di sottofondo così determinate sono le seguenti:

a) Strato 1 ($\phi = 16^\circ$ $C = \text{daN/cm}^2$. 0,00):

$$- z = \text{ml. } 3,50 \quad K = \text{daN/cm}^2. 1,38 \quad K_{\text{ridotta}} = \text{daN/cm}^2. 0,69$$

$$- z = \text{ml. } 4,50 \quad K = \text{daN/cm}^2. 1,69 \quad K_{\text{ridotta}} = \text{daN/cm}^2. 0,84$$

b) Strato 2 ($\phi = 29^\circ$ $C = \text{daN/cm}^2$. 0,04):

$$- z = \text{ml. } 5,50 \quad K = \text{daN/cm}^2. 8,00$$

$$- z = \text{ml. } 6,50 \quad K = \text{daN/cm}^2. 9,28$$

c) Strato 2 ($\phi = 32^\circ$ $C = \text{daN/cm}^2$. 0,05):

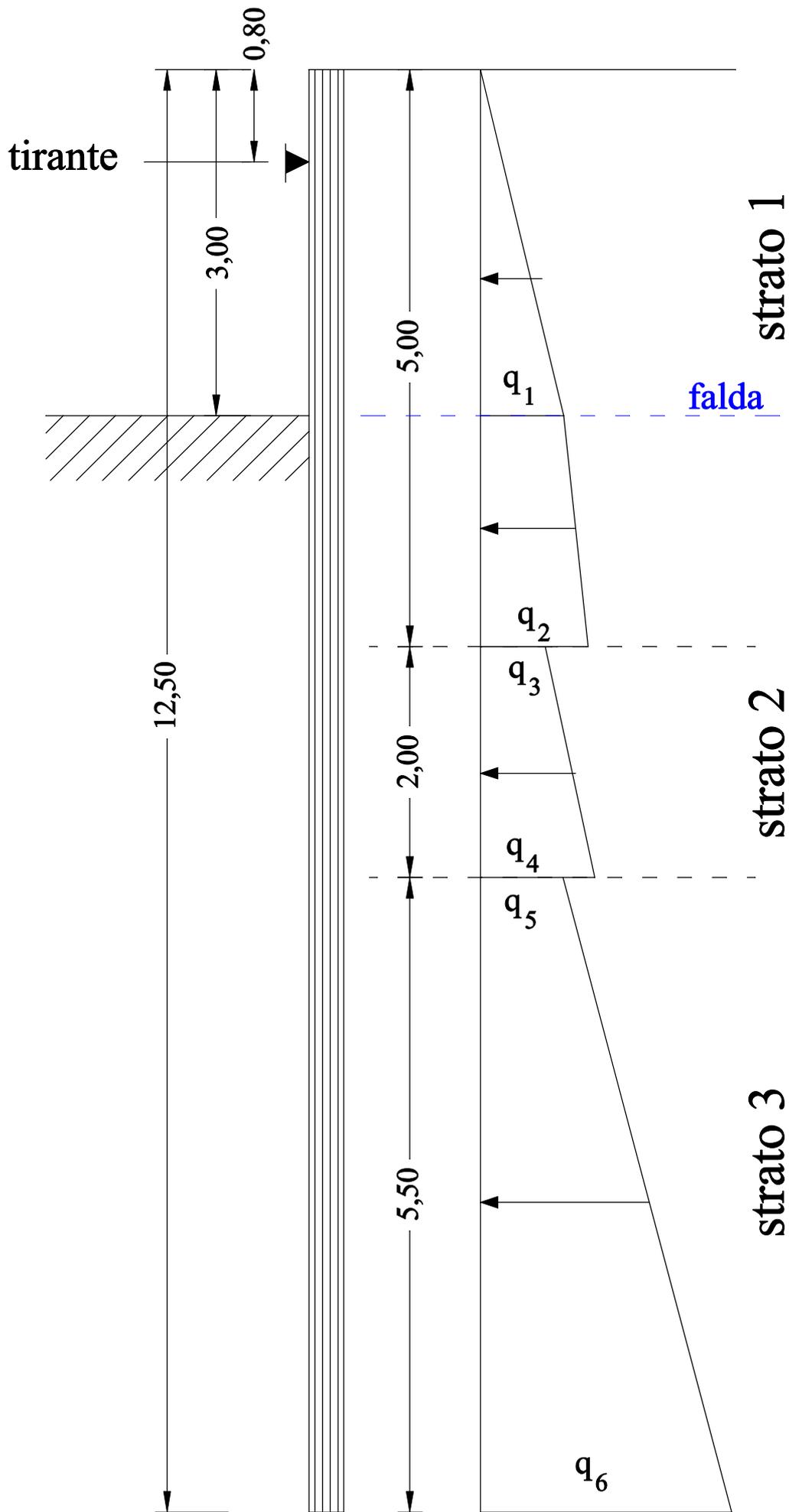
$$- z = \text{ml. } 7,50 \quad K = \text{daN/cm}^2. 15,45$$

$$- z = \text{ml. } 9,00 \quad K = \text{daN/cm}^2. 18,23$$

$$- z = \text{ml. } 11,00 \quad K = \text{daN/cm}^2. 21,94$$

Stante ciò e considerata la profondità della superficie critica di scivolamento determinata nelle verifiche globali di stabilità, lo schema statico utilizzato per il dimensionamento della paratia è quello riportato nella pagina seguente.

I dati del modello conseguente ed i risultati ottenuti sono riportati nel relativo fascicolo. Essi sono relativi ad un tratto di struttura lungo ml. 9,00, che comprende n. 3 tiranti attivi; il modello utilizzato risulta quindi pienamente rappresentativo della struttura in studio.



Spinte allo SLU:

- coefficiente di spinta strato 1 = 0,675
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,367
- coefficiente di spinta strato 3 = 0,322

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = 0,675 \times \cos(10,7^\circ) \times 1,3 \times 18 \times 3,00 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 23,28$
- $q_2 = 0,675 \times \cos(10,7^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) \times 0,50 = \text{KN/ml. } 31,04$
- $q_3 = [0,367 \times \cos(19,3^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9,00 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,367^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 13,79$
- $q_4 = [0,367 \times \cos(19,3^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,367^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 18,52$
- $q_5 = [0,322 \times \cos(21,3^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 5,00 \times 0,322^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 15,30$
- $q_6 = [0,322 \times \cos(21,3^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00 + 11,5 \times 5,50) -$
 $2 \times 5,00 \times 0,322^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 27,63$

Spinte allo SLV:

- coefficiente di spinta strato 1 = 1,384
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,827
- coefficiente di spinta strato 3 = 0,685

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = 1,384 \times \cos(10,7^\circ) \times 18 \times 3,00 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 36,72$
- $q_2 = 1,384 \times \cos(10,7^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) \times 0,50 = \text{KN/ml. } 48,96$
- $q_3 = [0,827 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9,00 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,827^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 24,46$
- $q_4 = [0,827 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,827^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 32,66$
- $q_5 = [0,685 \times \cos(21,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 5,00 \times 0,685^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 25,54$
- $q_6 = [0,685 \times \cos(21,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00 + 11,5 \times 5,50) -$
 $2 \times 5,00 \times 0,685^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 45,72$

La condizione dimensionante è evidentemente la SLV; in essa sul micropalo si hanno le seguenti sollecitazioni massime:

- $M_{\max} = \text{KNm. } 29,00$
- $T_{\max} = \text{KN } 37,60$

- Sforzo normale tirante = KN 247,70

Spinte allo SLE:

- coefficiente di spinta strato 1 = 0,675
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,367
- coefficiente di spinta strato 3 = 0,322

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = 0,675 \times \cos(10,7^\circ) \times 18 \times 3,00 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 17,91$
- $q_2 = 0,675 \times \cos(10,7^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) \times 0,50 = \text{KN/ml. } 23,88$
- $q_3 = [0,367 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9,00 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,367^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 10,05$
- $q_4 = [0,367 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,367^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 13,68$
- $q_5 = [0,322 \times \cos(21,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 5,00 \times 0,322^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 11,11$
- $q_6 = [0,322 \times \cos(21,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00 + 11,5 \times 5,50) -$
 $2 \times 5,00 \times 0,322^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 20,60$

Lungo il diaframma si ha uno spostamento massimo pari a circa cm. 1,86, ampiamente ammissibile per la tipologia di struttura.

Verifica tiranti.

I tiranti sono a tre trefoli della lunghezza di ml. 15,00 (lunghezza fondazione ml. 6,00), posti in opera all'interasse massimo di ml. 3,00 con un'inclinazione sull'orizzontale di circa 30° e saranno tesati con uno sforzo iniziale N_i pari a KN 250.

Verifica armatura:

Utilizzando tiranti a tre trefoli $\phi 0,6''$ ($A_f = 4,2 \text{ cmq.}$) in acciaio armonico con $F_{ptk} = N/mmq. 1.860$, si ha:

$$\sigma_f = 1,2 \times 250.000 / 420 = N/mmq. 714,29 < 0,80 F_{ptk} = N/mmq. 1.488 \quad (\text{O.K.})$$

In maniera duale, lo sforzo massimo sopportabile dal tirante è pari a:

$$- R_{max} = 1,488 \times 420 = \text{KN } 624,96 \quad (\text{O.K.})$$

Per il getto dei tiranti si usa malta cementizia dosata a q.li 6 di cemento per mc. di sabbia con $R_{ck} > 25 \text{ N/mmq.}$; per questa malta si ha:

$$- f_{ctk} = 0,7 \times 0,30 \times 20^{2/3} = N/mmq. 1,54$$

- resistenza tangenziale di calcolo (ancoraggio in zona tesa):

$$f_{bd} = 2,25 \times 0,7 \times 1,54 / 1,5 = N/mmq. 1,61$$

Resistenza allo sfilamento trefoli:

$$- N_{sf} = \pi D f_{bd} \delta L \gamma = \text{KN } 516 \quad (\text{O.K.})$$

ove:

$$- D = \text{diametro complessivo bulbo} = \text{mm. } 40$$

$$- L = \text{lunghezza bulbo di fondazione} = \text{mm. } 6.000$$

- δ = coefficiente che tiene conto della presenza di più trefoli nello stesso ancoraggio = 0,5

- γ = coefficiente che tiene conto dello stato delle superfici = 0,85

Verifica fondazione:

$$N_{ultimo} > \gamma_R \times N_i \quad \text{ove:}$$

$$- \gamma_R = 1,2 \quad (\text{tiranti permanenti})$$

$$\text{Si ha perciò } N_{ultimo} > 1,2 \times 250 = \text{KN } 300$$

Per il calcolo dello sforzo ultimo sopportabile dalla fondazione si utilizza la formula di Schneebeli:

$$- N_{ultimo} = \pi \times D \times L \times K_p \times P_{med} / \xi = \text{KN } 303 \quad (\text{O.K.})$$

ove i simboli hanno il seguente significato e valore (bulbo di ancoraggio all'interno dello strato 3):

$$- D = \text{diametro foro} = \text{ml. } 0,10$$

$$- L = \text{lunghezza fondazione} = \text{ml. } 6,00$$

$$- K_p = \text{coefficiente spinta passiva} = \text{Tan}(45^\circ + 32^\circ/2)^2 = 3,25$$

$$- P_{med} = \text{pressione efficace nel punto medio della fondazione} = 1,00 \times 18,00 + 4,00 \times 9,00 + 2,00 \times 10,50 + 2,00 \times 11,50 = \text{KN/mq. } 89,00$$

$$- \xi = \text{fattore di correlazione (un profilo di indagine)} = 1,80$$

La messa in opera ed il tesaggio dei tiranti dovrà avvenire con uno sforzo di collaudo N_c pari a KN 300.

Verifica micropali.

I micropali sono realizzati con perforazioni $\phi 200$ eseguite a quinconce all'interasse complessivo di ml. 0,50 ed armate con tubolare $\phi 139,7 \times 10 \text{ mm.}$ con le seguenti caratteristiche meccaniche:

$$- \text{Area } A = \text{cmq. } 40,7$$

$$- \text{Momento di inerzia } J = \text{cm}^4 \text{ } 862$$

$$- \text{modulo di inerzia elastico } W_e = \text{cm}^3 \text{ } 123$$

$$- \text{modulo di inerzia plastico } W_p = \text{cm}^3 \text{ } 168,5$$

- resistenza a flessione $M_{RD} = 0,3381 \times 168,5 = \text{KNm } 56,96$
- resistenza a taglio $T_{RD} = (2 \times 40,7 \times 33,81 / \pi) / \sqrt{3} = \text{KN } 505,7$

Sul micropalo si hanno le seguenti sollecitazioni massime (vedi schemi precedenti):

- $M_{\max} = \text{KNm. } 29,00$ (O.K.)
- $T_{\max} = \text{KN } 37,60$ (O.K.)

Verifica collasso per rotazione intorno alla base paratia (GEO).

Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R1).

La condizione dimensionante è quella sismica.

Parametri geomeccanici ridotti con i coefficienti γ_M .

Strato	Parametri strato
1	<ul style="list-style-type: none"> - Angolo attrito $\phi' = 16^\circ$ (back analysis) - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,00$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 18$ - Peso volume immerso $G' = \text{KN/mc } 9$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 10,7^\circ$) $K_a = 1,384$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 1,76$
2	<ul style="list-style-type: none"> - Angolo attrito $\phi' = 24^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,032$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 19,5$ - Peso volume immerso $G' = \text{KN/mc } 10,5$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 16^\circ$) $K_a = 1,154$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,37$
3	<ul style="list-style-type: none"> - Angolo attrito $\phi' = 26,5^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,04$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 20$ - Peso volume immerso $G' = \text{KN/mc } 11,5$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 17,7^\circ$) $K_a = 1,048$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,61$

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = 1,384 \times \cos(10,7^\circ) \times 18 \times 3,00 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 36,72$
- $q_2 = 1,384 \times \cos(10,7^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) \times 0,50 = \text{KN/ml. } 48,96$
- $q_3 = [1,154 \times \cos(16^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9,00 \times 2,00) - 2 \times 3,20 \times 1,154^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 36,50$
- $q_4 = [1,154 \times \cos(16^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 3,20 \times 1,154^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 48,14$
- $q_5 = [1,048 \times \cos(17,7^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 1,048^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 42,33$
- $q_6 = [1,048 \times \cos(17,7^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00 + 11,5 \times 5,50) -$
 $2 \times 4,00 \times 1,048^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 73,90$
- $M_{rib} = 36,72 \times 3,00 / 2 \times 10,50 + 36,72 \times 2,00 \times 9,50 + 12,24 \times 2,00 / 2 \times 8,17 +$
 $36,50 \times 2,00 \times 6,50 + 11,64 \times 2,00 / 2 \times 6,17 + 42,33 \times 5,50 \times 2,75 + 31,57 \times 5,50 / 2 \times 1,83 =$
 $= \text{KNm. } 2.722$
- $q_{1p} = 1,76 \times 18 \times 3,00 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 47,52$
- $q_{2p} = 1,76 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) \times 0,50 = \text{KN/ml. } 63,36$
- $q_{3p} = [2,37 \times (18 \times 3,00 + 9,00 \times 2,00) + 2 \times 3,20 \times 2,37^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 90,25$
- $q_{4p} = [2,37 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) + 2 \times 3,20 \times 2,37^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 115,13$
- $q_{5p} = [2,61 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00) + 2 \times 4,00 \times 2,61^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 127,82$
- $q_{6p} = [2,61 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 2,00 + 11,5 \times 5,50) + 2 \times 4,00 \times 2,61^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 210,37$
- $M_{stab} = 47,52 \times 2,00 \times 9,50 + 15,84 \times 2,00 / 2 \times 8,17 + 90,25 \times 2,00 \times 6,50 + 24,88 \times 2,00 / 2 \times 6,17$
 $+ 127,82 \times 5,50 \times 2,75 + 82,55 \times 5,50 / 2 \times 1,83 = \text{KNm. } 4.707$

$$- M_{stab} / M_{rib} = 4.707 / 2.722 = 1,72 > \gamma_c = 1,00 \quad (\text{O.K.})$$

Verifiche strutturali cordolo in c.a. in testa diaframma.

In senso longitudinale questo cordolo può essere considerato come una trave su più appoggi; considerando l'interdistanza dei tiranti di ml. 3,00 ed il seguente carico cautelativo:

$$- q = 300 \times \cos(30^\circ) / 3,00 = \text{KN/ml. } 86,60$$

si ha:

$$- M_{max} = 86,60 \times 3,00^2 / 10 = \text{KNm. } 77,94$$

$$- B = \text{cm. } 80 \quad H = \text{cm. } 150 \quad h = \text{cm. } 130 \quad n = 15$$

$$- Af = A'f = 4\phi 16 = \text{cmq. } 8,04$$

$$- \text{Resistenza ultima } M_{RD} = \text{KNm. } 453,80 \quad (\text{O.K.})$$

In relazione al punzonamento del tirante si può scrivere (diametro piastra di ancoraggio cm. 22):

$$- \text{perimetro critico} = (3/4) \times 3,14 \times 500 = \text{mm. } 1.177$$

$$- v_{ed} = 300.000 / [1.177 \times 900] = \text{N/mmq. } 0,28$$

- Resistenza ultima minima:

$$v_{RD,c} = 0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} = \text{N/mmq. } 0,32 > v_{ed} \quad (\text{O.K.})$$

$$k = 1 + (200/h)^{1/2} = 1,39$$

Il muretto in elevazione sopra il cordolo di collegamento delle teste dei micropali svolge solo una funzione di delimitazione di proprietà e non necessita quindi di particolari dimensionamenti.

5. - AREA CIMITERIALE - PROGETTO STRUTTURA INTERVENTI 2 E 5

A presidio e contenimento dei blocchi loculi posti nella parte nord-est dell'area cimiteriale si prevede la realizzazione di diaframmi di micropali verticali del diametro di mm. 130 subito a valle ed in aderenza a tali blocchi loculi.

I micropali saranno posti su un'unica fila all'interasse di ml. 0,60 e saranno armati con tubolari in acciaio di mm. 88,9x10 della lunghezza di ml. 7,00, collegati in testa da un cordolo in c.a..

Per poter effettuare un dimensionamento razionale si imposta una verifica a scorrimento del blocco loculi, considerato come blocco rigido, ed utilizzando come azione stabilizzatrice (oltre che l'attrito conseguente al peso del blocco stesso) il carico limite orizzontale garantito dalla nuova struttura.

Il peso del blocco loculi (sezione blocco circa ml. 2,73x3,00) è stimabile pari a $P = \text{KN/ml. } 120$.

Per il calcolo delle azioni sismiche, essendo posizionati in una parte più bassa del versante, pur confermando la categoria topografica T2, si utilizza un coefficiente $S_T = 1,10$. Si ha pertanto:

- categoria del sottosuolo: E

$$- S_s = 1,60 \quad S = S_s \times S_T = 1,76$$

- coefficiente di deformabilità $\alpha = 1$

- coefficiente di spostamento $\beta = 1$

- Coefficiente sismico in direzione orizzontale (SLV):

$$K_h = 1 \times 1 \times 1,76 \times 0,137 = 0,241$$

- Coefficiente sismico in direzione verticale:

$$K_v = \pm 0,5 \quad k_h = \pm 0,122$$

- Azione sismica agente sul blocco $F_s = 0,241 \times 120 = \text{KN/ml. } 28,92$

Per la determinazione del carico limite orizzontale H_{lim} del singolo micropalo si utilizza la teoria di BROMS, che considera la formazione di due cerniere plastiche (una in testa ed una lungo il fusto) e la reazione passiva del terreno sul micropalo.

In simboli, alla profondità L , questa reazione passiva sul micropalo è:

$$p = 3 K_p \gamma d L$$

Nel caso in esame si utilizzano micropali $\phi 130$ posti all'interasse di ml. 0,60 ed armati con tubolare metallico di mm. 88,9x10; si ha pertanto:

- Area $A = \text{cm}^2. 24,79$
- Momento di inerzia $J = \text{cm}^4. 195,98$
- Modulo di resistenza elastico $W_{e1} = \text{cm}^3. 44,09$
- Modulo di resistenza plastico $W_{p1} = \text{cm}^3. 62,59$
- Momento plastico $= 52,59 \times 0,3381 = \text{KNm } 21,16$
- Diametro perforazione $d = \text{cm. } 13$

Si considerano i seguenti parametri geotecnici rappresentativi del primo strato (in pratica l'unico interessato dalla reazione passiva):

- Angolo attrito $\phi' = 26^\circ$
- Peso volume $\gamma = \text{KN/mc } 18$
- Coeff. di spinta passiva ($\phi' = 16^\circ - \delta = 0^\circ$) $K_p = 2,56$

Facendo l'equilibrio alla rotazione ed alla traslazione si determina:

- $L = \text{ml. } 2,67$
- $H_{lim} = \text{KN } 23,99$ - $H_D = 19,76 / 1,70 / 1,30 = \text{KN } 10,86$

Per la verifica dell'armatura del micropalo momento causato si schematizza il micropalo come una trave su suolo elastico alla Winkler con costante di sottofondo K media posta pari a daN/cmc. 1,00.

Si ha perciò:

$$-\lambda = [4 \times E \times J / (K \times D)]^{0,25} = \text{ml. } 1,06$$

ove:

- $D = \text{diametro perforazione} = \text{cm. } 13$
- $E = \text{modulo di elasticità tubolare} = \text{daN/cm}^2. 2.100.000$
- $J = \text{cm}^4. 195,98$

$$-\ M_{max} = 10,86 \times 1,06 = \text{KNm } 11,51 \quad (\text{O.K.})$$

Stante tutto quanto sopra, considerando l'interasse dei micropali pari a cm. 60, la verifica a scorrimento del blocco può essere così impostata:

$$-\ [(P_x(1-K_v)\tan(10,7^\circ) + H_D/0,60) / F_s = 1,31 > \gamma_r = 1,10 \quad (\text{O.K.})$$

In assenza del diaframma di contenimento e presidio sopra dimensionato questa verifica, in condizioni sismiche, assumerebbe valori inferiori all'unità.

I cordoli in c.a. di collegamento delle teste dei micropali e la sovrastante lama in elevazione (presente nel caso dell'Intervento 5) svolgono solo funzioni di collegamento e presidio e non necessitano quindi di particolari dimensionamenti.

Si rileva che la verifica a ribaltamento del blocco loculi (considerato come blocco rigido) risulta ampiamente positiva già allo stato attuale senza necessità di alcun contributo da parte delle nuove strutture.

Si ha difatti:

- $M_{rib} = 28,92 \times 1,50 = \text{KNm. } 43,38$
- $M_{stab} = 120 \times (1 - 0,122) \times 2,73 / 2 = \text{KNm. } 143,81$
- $M_{stab} / M_{rib} = 143,81 / 43,38 = 3,31 \quad (\text{O.K.})$

6. - AREA CIMITERIALE - PROGETTO STRUTTURA INTERVENTO 3

L'attuale muretto al piede della scarpata a valle della cappella Scaglietti - Arcangeli è fortemente lesionato e pertanto si prevede la sua demolizione e la costruzione di un più consistente muro in c.a. con blocco di base ancorato agli orizzonti stabili con una serie di micropali verticali del diametro di mm. 130, posti su unica fila all'interasse di ml. 0,50 (armati con tubolari in acciaio di mm. 88,9x10 della lunghezza di ml. 7,00) e con n. 3 tiranti attivi armati con n. 2 trefoli $\phi 0,6$ " in acciaio armonico, della lunghezza di ml. 10,00 con un bulbo di ancoraggio di ml. 5,00, posti all'interasse di circa ml. 2,50 ed inclinati sull'orizzontale di 30°.

Il presente dimensionamento è sempre basato sui dati riportati nella Relazione Geologica, adottando i seguenti parametri geomeccanici rappresentativi:

Strato	Parametri strato
1	- Angolo attrito $\phi' = 26^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,01$ - Peso volume $G = \text{KN/mc} 18,0$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc} 19,0$
2	- Angolo attrito $\phi' = 29^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,04$ - Peso volume $G = \text{KN/mc} 19,5$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc} 20,5$

Per il calcolo delle azioni sismiche si considerano i seguenti parametri (paragrafo 7.11.6.3 NTC 2018):

- $S_T = 1,10$ $S_s = 1,60$ $S = S_s \times S_T = 1,76$
- coefficiente di deformabilità $\alpha = 1$
- coefficiente di spostamento $\beta = 1$ (struttura bloccata con tiranti)
- Coefficiente sismico in direzione orizzontale (SLV):
 $K_h = 1 \times 1 \times 1,76 \times 0,137 = 0,241$
- Coefficiente sismico in direzione verticale:
 $k_v = 0,00$ (punto 7.11.6.3.1 NTC - metodi pseudostatici)
- $\theta = \text{arcTan}[k_h / (1+k_v)]$

Le verifiche riportate nel seguito sono svolte con l'Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1), salvo che per lo sfilamento della fondazione del tirante per il quale si utilizzano i coeff. A1+M1+R3.

In condizioni sismiche i coefficienti A1 sono unitari.

Il calcolo della paratia è svolto utilizzando principalmente il coefficiente di spinta attiva di Mononobe & Okabe pari a:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \theta)}{\cos^2(\alpha) \cos(\theta) \cos(\delta + \alpha + \theta) [1 + (\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta) / \cos(\alpha + \delta + \theta) / \cos(\beta - \alpha))^{1/2}]^2}$$

ove:

- $\alpha =$ angolo paramento interno = 0°
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 2/3 \phi$

Si ha:

- a) Strato 1 (fino alla profondità di ml. 2,20):
 - Angolo d'attrito terreno $\phi' = 26^\circ$
 - Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 17,3^\circ$
 - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,01$

– Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc. } 18$

– Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,557$

Il coeff. di spinta in condizioni sismiche (SLV) è determinato nel seguito con un metodo grafico, in quanto la formula di Mononobe & Okabe non risulta applicabile con i parametri sopra riportati.

b) Strato 1 (tra le profondità di ml. 2,20 e ml. 5,00):

– Angolo d'attrito terreno $\phi' = 26^\circ$

– Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 17,3^\circ$

– Coesione $C' = \text{daN/cmq. } 0,01$

– Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc. } 18$

– Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc. } 9,0$

– Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,347$

– Coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche (SLV) $K_{as} = 0,571$

c) Strato 2 (oltre la profondità di ml. 5,00):

– Angolo d'attrito terreno $\phi' = 29^\circ$

– Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 19,3^\circ$

– Coesione $C' = \text{daN/cmq. } 0,04$

– Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc. } 19,5$

– Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc. } 10,5$

– Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,309$

– Coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche (SLV) $K_{as} = 0,515$

Dato che la formula di Mononobe & Okabe non risulta applicabile, per determinare il coefficiente di spinta in condizioni sismiche (SLV) dello strato 1 si utilizza un metodo grafico, che consiste nell'individuare il cuneo di spinta mediante la verifica di stabilità globale che permette di determinare la superficie di scivolamento critica e conseguentemente la forza spingente ed il relativo coefficiente di spinta.

Lo schema grafico di calcolo della spinta agente sulla struttura allo SLV è riportato nella pagina seguente.



Cuneo di spinta

Cappella
Scaglietti - Arcangeli

Spinta
KN/ml. 53,36

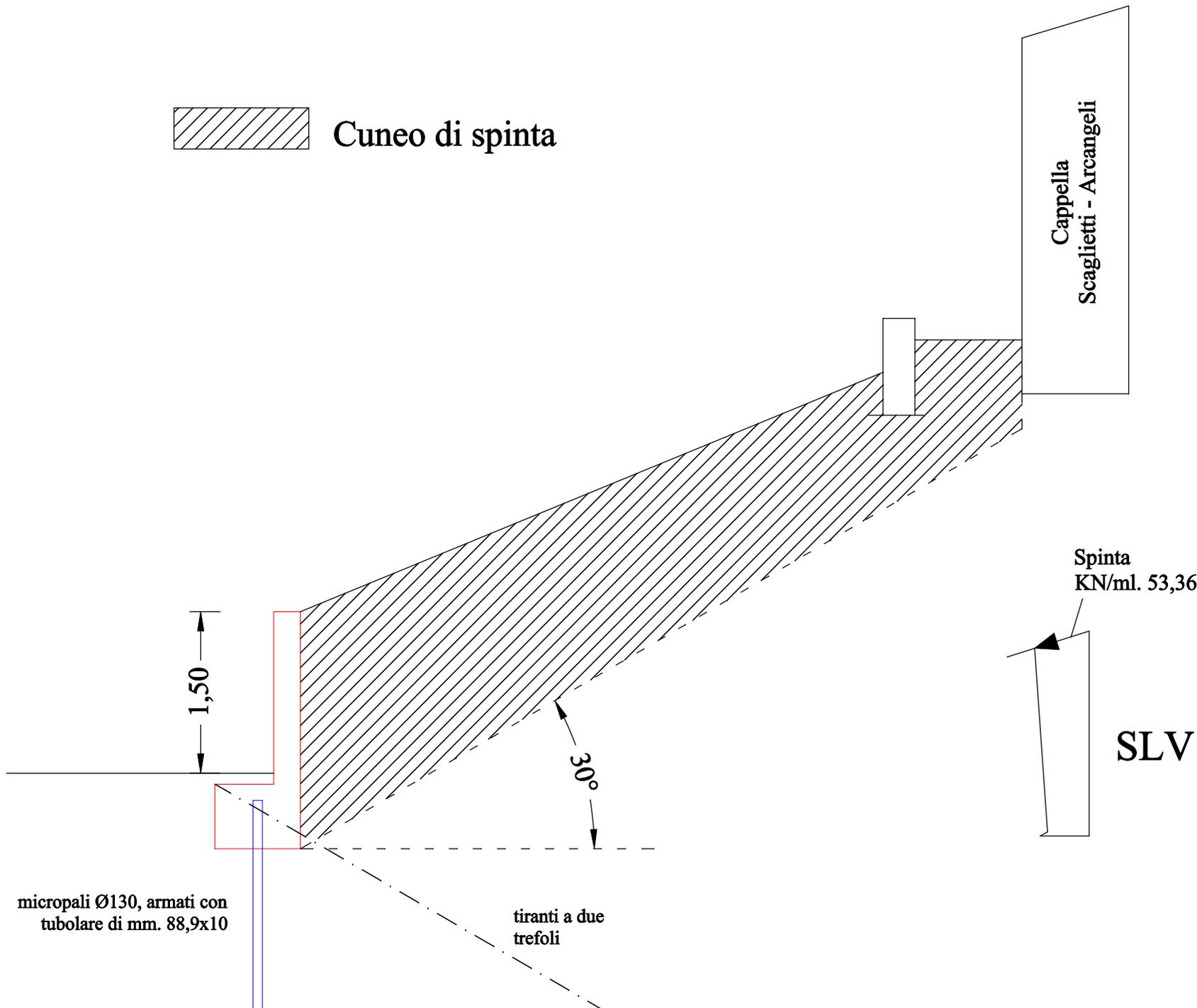
SLV

1,50

30°

micropali Ø130, armati con
tubolare di mm. 88,9x10

tiranti a due
trefoli



La spinta determinata allo SLV è pari a KN/ml. 53,36 e ciò equivale a considerare un coefficiente di spinta medio per lo strato 1 (tra le profondità 0,00 e 2,20) pari a 1,225.

Per cogliere l'esatto comportamento della struttura si è studiata l'opera come uno schema unico "a paratia", utilizzando il programma PRO_SAP (licenza PROFESSIONAL build 2011-06-155) della 2S.I. s.r.l., Ferrara.

Gli elementi immersi nel terreno (i micropali) sono schematizzati come travi alla Winkler con costante di sottofondo crescente con la profondità.

La stima di queste costanti di sottofondo è effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

$$- K = A + BxZ^n$$

Dove:

$$- A = Cx(cxN_c + 0,5 \gamma Bn_\gamma) \quad B = C \gamma N_q \quad C = 40 \text{ nel sistema internazionale SI}$$

$$- Z = \text{profondità} \quad n = \pi \tan(\phi)$$

$$- N_q = \exp[n \times \tan^2(45^\circ + \phi/2)] \quad N_c = (N_q - 1) \cot(\phi) \quad N_\gamma = 1,5(N_q - 1) \tan(\phi)$$

Le costanti di sottofondo così determinate sono le seguenti:

a) Strato 1 ($\phi = 26^\circ$ $C = \text{daN/cm}^2$. 0,01):

$$- z = \text{ml. } 0,30 \quad K = \text{daN/cm}^2. 0,63$$

$$- z = \text{ml. } 1,00 \quad K = \text{daN/cm}^2. 1,23$$

$$- z = \text{ml. } 1,90 \quad K = \text{daN/cm}^2. 2,00$$

$$- z = \text{ml. } 2,90 \quad K = \text{daN/cm}^2. 2,85$$

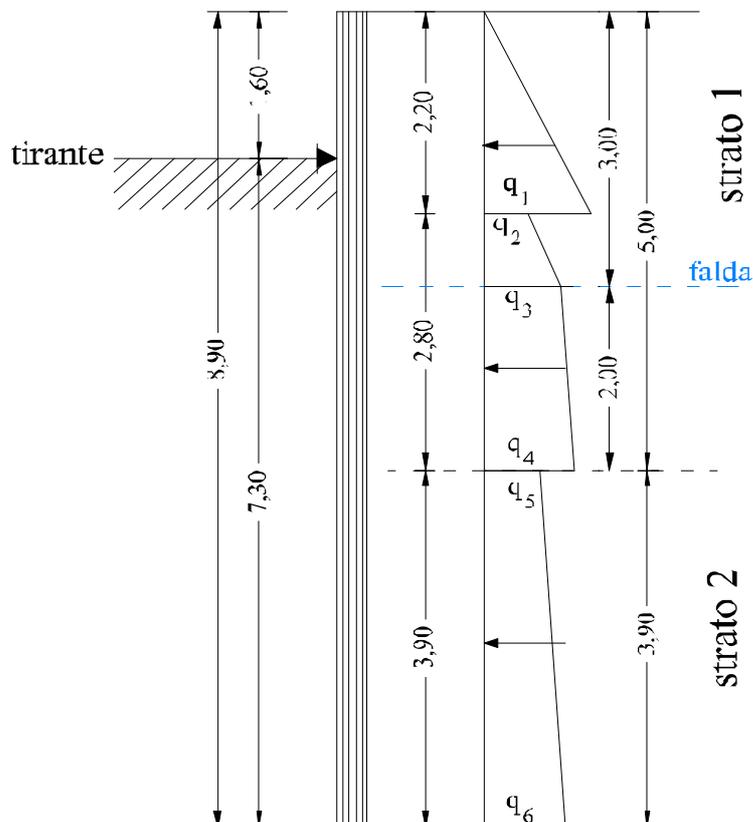
b) Strato 2 ($\phi = 29^\circ$ $C = \text{daN/cm}^2$. 0,04):

$$- z = \text{ml. } 4,00 \quad K = \text{daN/cm}^2. 6,08$$

$$- z = \text{ml. } 5,20 \quad K = \text{daN/cm}^2. 7,62$$

$$- z = \text{ml. } 6,60 \quad K = \text{daN/cm}^2. 9,41$$

Stante ciò, lo schema statico utilizzato per il dimensionamento della paratia è il seguente.



I dati del modello conseguente ed i risultati ottenuti sono riportati nel relativo fascicolo. Essi sono relativi all'intera struttura lunga ml. 7,60, che comprende n. 3 tiranti attivi.

Spinte allo SLU:

- coefficiente di spinta strato 1 (fino alla profondità di ml. 2,20) = 0,557
- coefficiente di spinta strato 1 (oltre la profondità di ml. 2,20) = 0,347
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,309

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = [0,557 \times \cos(17,3^\circ) \times 1,3 \times 18 \times 2,20 - 2 \times 1,00 \times 0,557^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 12,62$
- $q_2 = [0,347 \times \cos(17,3^\circ) \times 1,3 \times 18 \times 2,20 - 2 \times 1,00 \times 0,347^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 7,55$
- $q_3 = [0,347 \times \cos(17,3^\circ) \times 1,3 \times 18 \times 3,00 - 2 \times 1,00 \times 0,347^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 11,04$
- $q_4 = [0,347 \times \cos(17,3^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 1,00 \times 0,347^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 14,92$
- $q_5 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 11,43$
- $q_6 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times 1,3 \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 3,80) - 2 \times 4,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 18,99$

Spinte allo SLV:

- coefficiente di spinta strato 1 (fino alla profondità di ml. 2,20) = 1,225
- coefficiente di spinta strato 1 (oltre la profondità di ml. 2,20) = 0,571
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,515

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = 1,225 \times \cos(17,3^\circ) \times 18 \times 2,20 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 22,11$
- $q_2 = [0,571 \times \cos(17,3^\circ) \times 18 \times 2,20 - 2 \times 1,00 \times 0,571^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 9,55$
- $q_3 = [0,571 \times \cos(17,3^\circ) \times 18 \times 3,00 - 2 \times 1,00 \times 0,571^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 13,96$
- $q_4 = [0,571 \times \cos(17,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 1,00 \times 0,571^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 18,87$
- $q_5 = [0,515 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,515^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 14,63$
- $q_6 = [0,515 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 3,80) - 2 \times 4,00 \times 0,515^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 24,32$

La condizione dimensionante è evidentemente la SLV; in essa sul micropalo si hanno le seguenti sollecitazioni massime:

- $M_{\max} = \text{KNm. } 8,13$
- $T_{\max} = \text{KN } 12,86$

- Sforzo normale tirante = KN 83,31

Spinte allo SLE:

- coefficiente di spinta strato 1 (fino alla profondità di ml. 2,20) = 0,557
- coefficiente di spinta strato 1 (oltre la profondità di ml. 2,20) = 0,347
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,309

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = [0,557 \times \cos(17,3^\circ) \times 18 \times 2,20 - 2 \times 1,00 \times 0,557^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 9,30$
- $q_2 = [0,347 \times \cos(17,3^\circ) \times 18 \times 2,20 - 2 \times 1,00 \times 0,347^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 5,67$
- $q_3 = [0,347 \times \cos(17,3^\circ) \times 18 \times 3,00 - 2 \times 1,00 \times 0,347^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 8,36$
- $q_4 = [0,347 \times \cos(17,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 1,00 \times 0,347^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 11,34$
- $q_5 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 4,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 8,28$
- $q_6 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 3,80) - 2 \times 4,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 14,09$

Lungo il diaframma si ha uno spostamento massimo pari a circa cm. 0,63, ampiamente ammissibile per la tipologia di struttura.

Verifica tiranti.

I tiranti sono a due trefoli della lunghezza di ml. 10,00 (lunghezza fondazione ml. 5,00), posti in opera all'interasse di ml. 2,50 con un'inclinazione sull'orizzontale di circa 30° e saranno tesati con uno sforzo iniziale N_i pari a KN 100.

Verifica armatura:

Utilizzando tiranti a due trefoli $\phi 0,6''$ ($A_f = 2,8 \text{ cmq.}$) in acciaio armonico con $F_{ptk} = N/mmq. 1.860$, si ha:

$$\sigma_f = 1,2 \times 100.000 / 280 = N/mmq. 428,57 < 0,80 F_{ptk} = N/mmq. 1.488 \quad (\text{O.K.})$$

In maniera duale, lo sforzo massimo sopportabile dal tirante è pari a:

$$- R_{max} = 1,488 \times 280 = \text{KN } 416364 \quad (\text{O.K.})$$

Per il getto dei tiranti si usa malta cementizia dosata a q.li 6 di cemento per mc. di sabbia con $R_{ck} > 25 \text{ N/mmq.}$; per questa malta si ha:

- $f_{ctk} = 0,7 \times 0,30 \times 20^{2/3} = N/mmq. 1,54$
- resistenza tangenziale di calcolo (ancoraggio in zona tesa):
 $f_{bd} = 2,25 \times 0,7 \times 1,54 / 1,5 = N/mmq. 1,61$

Resistenza allo sfilamento trefoli:

$$- N_{sf} = \pi D f_{bd} \delta L \gamma = \text{KN } 344 \quad (\text{O.K.})$$

ove:

- D = diametro complessivo bulbo = mm. 32
- L = lunghezza bulbo di fondazione = mm. 5.000
- δ = coefficiente che tiene conto della presenza di più trefoli nello stesso ancoraggio = 0,5
- γ = coefficiente che tiene conto dello stato delle superfici = 0,85

Verifica fondazione:

$$N_{ultimo} > \gamma_R \times N_i \quad \text{ove:}$$

- $\gamma_R = 1,2$ (tiranti permanenti).

Si ha perciò $N_{ultimo} > 1,2 \times 100 = \text{KN } 120$

Per il calcolo dello sforzo ultimo sopportabile dalla fondazione si utilizza la formula di Schneebeli:

$$- N_{ultimo} = \pi \times D \times L \times K_p \times P_{med} / \xi = \text{KN } 245 \quad (\text{O.K.})$$

ove i simboli hanno il seguente significato e valore (bulbo di ancoraggio all'interno dello strato 2):

- D = diametro foro = ml. 0,08
- L = lunghezza fondazione = ml. 5,00
- K_p = coefficiente spinta passiva = $\text{Tan}(45^\circ + 29^\circ/2)^2 = 2,88$
- P_{med} = pressione efficace nel punto medio della fondazione =
 $5,50 \times 18,00 + 2,00 \times 9,00 + 0,50 \times 10,50 = \text{KN/mq. } 122,00$
- ξ = fattore di correlazione (un profilo di indagine) = 1,80

La messa in opera ed il tesaggio dei tiranti dovrà avvenire con uno sforzo di collaudo N_c pari a KN 120.

Verifica micropali.

I micropali sono realizzati con perforazioni $\phi 130$ eseguite su un'unica fila all'interasse di ml. 0,50 ed armate con tubolare $\phi 88,9 \times 10 \text{ mm.}$ con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Area $A = \text{cmq. } 24,79$
- Momento di inerzia $J = \text{cm}^4 195,98$
- modulo di inerzia elastico $W_e = \text{cm}^3 44,09$
- modulo di inerzia plastico $W_p = \text{cm}^3 62,59$
- resistenza a flessione $M_{RD} = 0,3381 \times 62,59 = \text{KNm } 21,16$
- resistenza a taglio $T_{RD} = (2 \times 24,79 \times 33,81 / \pi) / \sqrt{3} = \text{KN } 308$

Sul micropalo si hanno le seguenti sollecitazioni massime (vedi schemi precedenti):

- $M_{max} = \text{KNm. } 8,13$ (O.K.)
- $T_{max} = \text{KN } 12,86$ (O.K.)

Verifica collasso per rotazione intorno alla base paratia (GEO).

Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R1).

La condizione dimensionante è quella sismica.

Parametri geomeccanici ridotti con i coefficienti γ_M .

Strato	Parametri strato
1 (fino ml. 2,20)	- Angolo attrito $\phi' = 21,3^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,008$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 18$ - Peso volume immerso $G' = \text{KN/mc } 9$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 14,2^\circ$) $K_a = 1,55$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,14$
1 (oltre ml. 2,20)	- Angolo attrito $\phi' = 21,3^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,008$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 18$ - Peso volume immerso $G' = \text{KN/mc } 9$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 14,2^\circ$) $K_a = 0,678$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,14$
2	- Angolo attrito $\phi' = 24^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,032$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 19,5$ - Peso volume immerso $G' = \text{KN/mc } 10,5$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 16^\circ$) $K_a = 0,613$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,37$

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = 1,55 \times \cos(14,2^\circ) \times 18 \times 2,20 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 29,75$
- $q_2 = [0,678 \times \cos(14,2^\circ) \times 18 \times 2,20 - 2 \times 0,80 \times 0,678^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 12,36$
- $q_3 = [0,678 \times \cos(14,2^\circ) \times 18 \times 3,00 - 2 \times 0,80 \times 0,678^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 17,09$
- $q_4 = [0,678 \times \cos(14,2^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 0,80 \times 0,678^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 23,00$
- $q_5 = [0,613 \times \cos(16^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00) - 2 \times 3,20 \times 0,613^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 18,71$
- $q_6 = [0,613 \times \cos(16^\circ) \times (18 \times 3,00 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 3,90) - 2 \times 3,20 \times 0,613^{1/2}] \times 0,50 =$
 $= \text{KN/ml. } 30,46$
- $M_{rib} = 29,75 \times 2,20 / 2 \times 7,43 + 12,36 \times 0,80 \times 6,30 + 4,73 \times 0,80 / 2 \times 6,17 +$
 $17,09 \times 2,00 \times 4,90 + 5,91 \times 2,00 / 2 \times 4,57 + 18,71 \times 3,90 \times 1,95 + 11,75 \times 3,90 / 2 \times 1,30 =$
 $= \text{KNm. } 684$
- $q_1 = 2,14 \times 18 \times 0,60 \times 0,50 = \text{KN/ml. } 11,55$
- $q_2 = (2,14 \times 18 \times 0,60 + 2 \times 0,80 \times 2,14^{1/2}) \times 0,50 = \text{KN/ml. } 12,72$
- $q_3 = (2,14 \times 18 \times 1,40 + 2 \times 0,80 \times 2,14^{1/2}) \times 0,50 = \text{KN/ml. } 28,13$
- $q_4 = [2,14 \times (18 \times 1,40 + 9 \times 2,00) + 2 \times 0,80 \times 2,14^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 46,29$
- $q_5 = [2,37 \times (18 \times 1,40 + 9 \times 2,00) + 2 \times 3,20 \times 2,37^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 56,11$
- $q_6 = [2,37 \times (18 \times 1,40 + 9 \times 2,00 + 10,5 \times 3,90) + 2 \times 3,20 \times 2,37^{1/2}] \times 0,50 = \text{KN/ml. } 104,64$
- $M_{stab} = 11,55 \times 0,60 / 2 \times 6,90 + 12,72 \times 0,80 \times 6,30 + 15,41 \times 0,80 / 2 \times 6,17 +$
 $28,13 \times 2,00 \times 4,90 + 18,16 \times 2,00 / 2 \times 4,57 + 56,11 \times 3,90 \times 1,95 + 48,53 \times 3,90 / 2 \times 1,30 =$
 $= \text{KNm. } 1.034$
- $M_{stab} / M_{rib} = 1.034 / 684 = 1,51 > \gamma_r = 1,00$ (O.K.)

Verifiche strutturali c.a. muro in elevazione.

Dal modello strutturale si ricavano le seguenti sollecitazioni massime (allo SLV) per la parte in elevazione in c.a.:

- M_{max} (su una fascia di cm. 50) = KNm. 6,86 → $M_{max} = \text{KNm/ml. } 13,72$
- T_{max} (su una fascia di cm. 50) = KN 12,86 → $T_{max} = \text{KN/ml. } 25,72$

Il peso del muro è pari a:

$$N = 0,25 \times 1,60 \times 25 = \text{KN/ml. } 10,00$$

- B = cm. 100 H = cm. 25 h = cm. 20 n = 15
- Af = $\phi 12/20 = \text{cmq. } 10,05$ A'f = $\phi 12/20 = \text{cmq. } 5,65$
- Resistenza ultima $M_{RD} = \text{KNm. } 50,20$ (O.K.)
- Resistenza ultima minima:
 $V_{RD} = 0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} B h = \text{KN. } 112$ (O.K.)
 $k = 1 + (200/h)^{1/2} = 2,00$

Ripartitori orizzontali $\phi 8/25$.

In corrispondenza dell'ancoraggio dei tiranti attivi è presente un cordolo orizzontale di collegamento micropali-tiranti.

In senso longitudinale questo cordolo può essere considerato come una trave su tre appoggi; considerando l'interdistanza di ml. 2,50 ed il seguente carico cautelativo:

$$- q = 120 \times \text{Cos}(30^\circ) / 2,50 = \text{KN/ml. } 41,60$$

si ha:

- $M_{max} = 41,60 \times 2,50^2 / 8 = \text{KNm. } 32,50$
- B = cm. 60 H = cm. 80 h = cm. 75 n = 15
- Af = A'f = $4\phi 16 = \text{cmq. } 8,04$
- Resistenza ultima $M_{RD} = \text{KNm. } 231,80$ (O.K.)

In relazione al punzonamento del tirante si può scrivere (diametro piastra di ancoraggio cm. 22):

- perimetro critico = $(3/4) \times 3,14 \times 500 = \text{mm. } 1.177$
- $v_{ed} = 120.000 / [1.177 \times 800] = \text{N/mmq. } 0,13$

- Resistenza ultima minima:

$$v_{RD,c} = 0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} = \text{N/mmq. } 0,36 > v_{ed} \quad (\text{O.K.})$$
$$k = 1 + (200/h)^{1/2} = 1,51$$

7. - AREA CIMITERIALE - PROGETTO STRUTTURA INTERVENTI 4 E 6

L'esistente muro identificato nei disegni di progetto come "Intervento 6" è posto immediatamente a valle di una serie di tombe.

Il muro ha uno spessore di cm. 30 ed un'altezza di circa ml. 3,30, anche se il dislivello tra i piani cimiteriali posti ai suoi due lati è pari a soltanto ml. 1,50 circa.

Il muro ha una struttura in conglomerato cementizio, anche se localmente sono presenti alcuni innesti (probabilmente posticci) di elementi murari vari. Non è conosciuta la geometria del muro, né della sua fondazione, in quanto la sua posizione non ha reso possibile l'esecuzione di saggi conoscitivi, né è stata ritrovata nessuna documentazione in merito presso gli uffici comunali. Dalle evidenze visive si può presumere che nella struttura in cls del muro sia presente solo un'armatura di scarsa qualità e quantità.

Presso l'estremità nord-est del muro è presente un'evidente lesione verticale, di cui in progetto è prevista la risarcitura.

Sulla base dei dati ed informazioni che è stato possibile reperire sulla natura e caratteristiche del muro sono stati previsti i sotto riportati interventi di riduzione delle possibili instabilità a cui il muro stesso potrebbe essere soggetto.

Il tutto compatibilmente con la necessità di salvaguardare tutte le tombe esistenti poste superiormente a contatto con paramento del muro.

Stante ciò in progetto si prevede l'esecuzione l'abbassamento del muro in sommità per circa ml. 0,80 e la messa in opera di n. 3 tiranti in acciaio $\phi 20$ agganciati al cordolo dei micropali dell'intervento 4.

Questi tre tiranti saranno posti in opera all'interno di apposite tracce create all'interno del piano cimiteriale alto e quindi essi verranno a posizionarsi ad un'altezza di circa ml. 1,30 rispetto al piano basso. Essi avranno il compito di ridurre la possibilità del formarsi di cinematismi e/o meccanismi locali.

I tre tiranti vengono ancorati ad alcuni micropali da realizzare all'interno del piano cimiteriale alto.

Su suggerimento del Geologo, invece di creare tre elementi puntuali di ritegno, si prevede la realizzazione di un diaframma continuo di micropali, collegati in testa da un'adeguato cordolo in c.a. (Intervento 4), che così, oltre a ritegno puntuale ai tre tiranti, potrà anche svolgere funzioni di presidio e consolidamento della parte di scarpata presente a monte.

Per poter effettuare un dimensionamento, seppure sommario, delle opere sopra descritte si ipotizza che il ritegno di ogni tirante sia assicurato da n. 4 micropali.

Per analogia con gli Interventi n. 2 e 5 si prevede l'utilizzo di micropali verticali del diametro di mm. 130 armati con tubolari in acciaio di mm. 88,9x10 della lunghezza di ml. 7,00.

Considerando i dimensionamenti già effettuati nel precedente paragrafo 5 il carico orizzontale di progetto H_p risulta pari a KN 10,86.

La forza di ritegno del singolo tirante risulta pertanto pari a $H_{tot} = 4 \times 10,86 = \text{KN } 43,44$.

Al singolo tirante $\phi 20$ ($A_f = \text{cmq. } 3,14$) si assegna uno sforzo di tesatura massimo pari a KN 40, per cui per esso si ha:

$$- \sigma_f = 4.000 / 3,14 = \text{daN/cmq. } 1.274 \quad (\text{tirante in campo elastico - O.K.})$$

Il capochiave sarà del tipo a scomparsa con tirante incassato e sarà formato con una piastra quadrata di mm. 372x372 in acciaio S275JR.

Per la verifica a punzonamento sul muro si può scrivere:

$$- \text{perimetro critico} = 4 \times 372 = \text{mm. } 1.488$$

$$- \text{spessore muro} = \text{mm. } 300$$

$$- v_{ed} = 40.000 / (1.488 \times 300) = \text{N/mmq. } 0,09$$

- Resistenza ultima minima:

$$v_{RD,c} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = \text{N/mmq. } 0,35 > v_{ed} \quad (\text{O.K.})$$

$$k = 1 + (200/h)^{1/2} = 1,89$$

Come sopra indicato, i micropali dell'Intervento 4 sono collegati in testa da un cordolo in c.a. con sezione di cm. 100x50.

Per poter procedere ad un suo dimensionamento in senso longitudinale si ipotizza, a larga cautela, un suo schema di calcolo a trave semplicemente appoggiata a singola campata di luce ml. 3,30 con carico concentrato in mezzzeria pari allo del tirante di KN 40.

Si ha pertanto:

$$- M_{max} = 40,00 \times 3,30 / 4 = \text{KNm. } 33,00$$

$$- B = \text{cm. } 50 \quad H = \text{cm. } 100 \quad h = \text{cm. } 90 \quad n = 15$$

$$- A_f = A'f = 4 \phi 16 = \text{cmq. } 8,04$$

$$- \text{Resistenza ultima } M_{RD} = \text{KNm. } 287,00 \quad (\text{O.K.})$$

8. - VIA VIII MARZO - PROGETTO STRUTTURA SUL LATO VALLE STRADA

La struttura è rappresentata da un diaframma di micropali verticali del diametro di mm. 200, posti a quinconce su due file all'interasse complessivo di ml. 0,60, armati con tubolari in acciaio di mm. 139,7x10 della lunghezza di ml. 8,00, collegati in testa da un adeguato cordolo in c.a., a sua volta dotato di una piccola parte a sbalzo, sempre in c.a., in modo da ampliare l'attuale limitata larghezza stradale a circa ml. 3,20.

Il presente dimensionamento è sempre basato sui dati riportati nella Relazione Geologica.

In pratica sono adottati i seguenti parametri geomeccanici:

Strato	Parametri strato
1	- Angolo attrito $\phi' = 24^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,03$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 18,0$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc } 19,0$
2	- Angolo attrito $\phi' = 29^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,07$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 19,0$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc } 20,5$
3	- Angolo attrito $\phi' = 30^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cm}^2 0,50$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 21,0$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc } 22,5$

Per il calcolo delle azioni sismiche si considerano i seguenti parametri (paragrafo 7.11.6.3 NTC 2018):

- coefficiente di deformabilità $\alpha = 1$
- coefficiente di spostamento $\beta = 0,74$ ($u_s = \text{cm. } 2,0$)
- Coefficiente sismico in direzione orizzontale (SLV):
 $K_h = 1 \times 0,74 \times 1,92 \times 0,137 = 0,195$
- Coefficiente sismico in direzione verticale:
 $k_v = 0,00$ (punto 7.11.6.3.1 NTC - metodi pseudostatici)
- $\theta = \text{arcTan}[k_h / (1 \pm k_v)]$

Le verifiche riportate nel seguito sono svolte con l'Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1).

In condizioni sismiche i coefficienti A1 sono unitari.

Nello schema di calcolo sono stati inseriti anche i carichi mobili agenti sul piano strada.

Si considera in particolare il carico mobile $q_{1k} = \text{KN/mq. } 9,00$ previsto dalle NTC 2018 per ponti stradali (paragrafo 5.1.3.3.5), nonché una forza orizzontale d'urto di 50 KN per svio.

In entrambi i casi il relativo coefficiente di combinazione ψ_2 è pari a 0,00.

Il calcolo della paratia è svolto utilizzando il coefficiente di spinta attiva di Mononobe & Okabe pari a:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \theta)}{\cos^2(\alpha) \cos(\theta) \cos(\delta + \alpha + \theta) [1 + (\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta) / \cos(\alpha + \delta + \theta) / \cos(\beta - \alpha))^{1/2}]^2}$$

ove:

- $\alpha =$ angolo paramento interno = 0°
- $\beta =$ angolo pendio = 0°
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 2/3 \phi$

Si ha:

a) Strato 1:

- Angolo d'attrito terreno $\phi' = 24^\circ$
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 16^\circ$
- Coesione $C' = \text{daN/cm}^2. 0,03$
- Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc} . 18$
- Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc} . 9$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,375$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche (SLV) $K_{as} = 0,552$

b) Strato 2:

- Angolo d'attrito terreno $\phi' = 29^\circ$
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 19,3^\circ$
- Coesione $C' = \text{daN/cm}^2. 0,07$
- Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc} . 19,0$
- Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc} . 10,5$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,309$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche (SLV) $K_{as} = 0,464$

c) Strato 3:

- Angolo d'attrito terreno $\phi' = 30^\circ$
- Angolo attrito terreno-paratia $\delta = 20^\circ$
- Coesione $C' = \text{daN/cm}^2. 0,50$
- Peso di volume $\gamma = \text{KN/mc} . 21,0$
- Peso di volume immerso $\gamma' = \text{KN/mc} . 12,5$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni statiche (SLU e SLE) $K_a = 0,297$
- Coeff. di spinta attiva in condizioni sismiche (SLV) $K_{as} = 0,449$

Anche in questo caso per cogliere l'esatto comportamento della struttura si è studiata l'opera come uno schema unico "a paratia", utilizzando il programma PRO_SAP (licenza PROFESSIONAL build 2011-06-155) della 2S.I. s.r.l., Ferrara. Gli elementi immersi nel terreno (i micropali) sono schematizzati come travi alla Winkler con costante di sottofondo crescente con la profondità. La stima di queste costanti di sottofondo è effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

$$- K = A + BxZ$$

Dove:

- $A = Cx(cxN_c + 0,5 \gamma Bn_\gamma)$ $B = C \gamma N_q$ $C = 40$ nel sistema internazionale SI
- $Z =$ profondità
- $n = \pi \tan(\phi)$
- $N_q = \exp[n \times \tan^2(45^\circ + \phi/2)]$ $N_c = (N_q - 1) \cot(\phi)$ $N_\gamma = 1,5(N_q - 1) \tan(\phi)$

A favore di sicurezza nel primo tratto fino alla profondità di ml. 1,60 (corrispondente allo spessore del primo strato) si fa l'ipotesi limite di terreno non presente a valle della paratia ed inoltre, per le parti di micropalo che attraversano la coltre potenzialmente instabile (secondo strato), le costanti di sottofondo vengono ridotte del 50% per tener conto della potenziale instabilità dello strato.

Le costanti di sottofondo così determinate sono le seguenti:

a) Strato 2 ($\phi = 29^\circ$ $C = \text{daN/cm}^2. 0,07$):

- $z = \text{ml} . 2,00$ $K = \text{daN/cm}^2. 3,61$ $K_{ridotta} = \text{daN/cm}^2. 1,80$
- $z = \text{ml} . 2,90$ $K = \text{daN/cm}^2. 4,68$ $K_{ridotta} = \text{daN/cm}^2. 2,34$

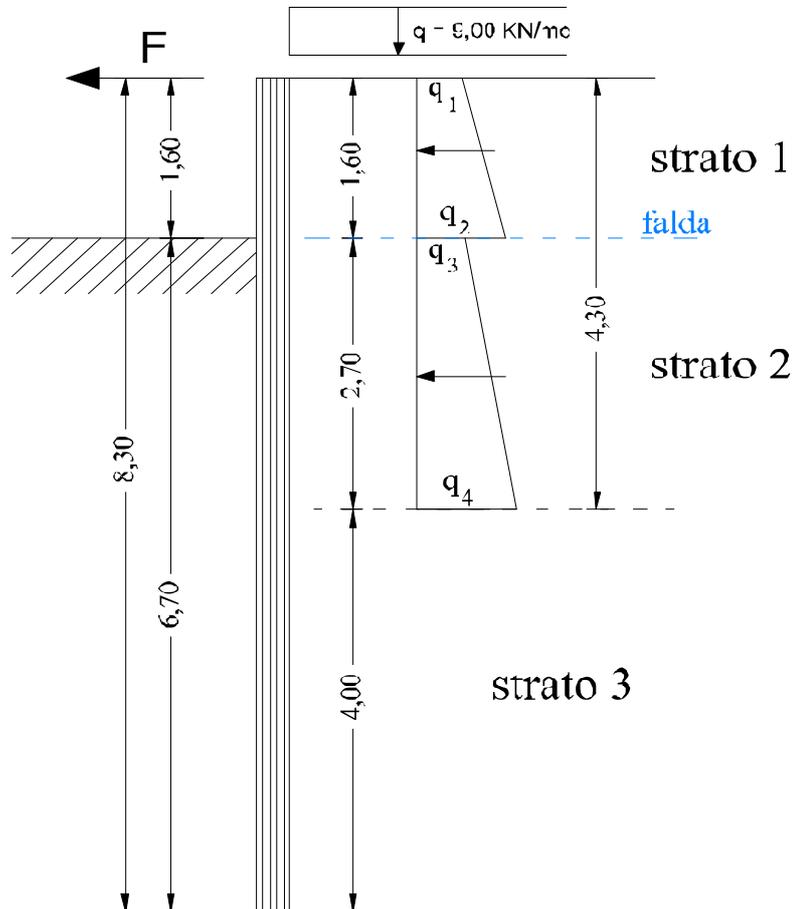
- z = ml. 3,90 K = daN/cmc. 5,86 $K_{ridotta} = \text{daN/cmc. } 2,93$

b) Strato 3 ($\phi = 30^\circ$ C = daN/cm². 0,50):

- z = ml. 4,80 K = daN/cmc. 12,93

- z = ml. 6,80 K = daN/cmc. 15,58

Stante ciò e considerata la profondità della superficie critica di scivolamento determinata nelle verifiche globali di stabilità, lo schema statico utilizzato per il dimensionamento della paratia è il seguente.



Azioni allo SLU:

- coefficiente di spinta strato 1 = 0,375
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,309
- coefficiente di spinta strato 3 = 0,297
- $q_1 = [0,375 \times \cos(16^\circ) \times 1,5 \times 9,00 - 2 \times 3,00 \times 0,375^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 0,72$
- $q_2 = [0,375 \times \cos(16^\circ) \times (1,5 \times 9,00 + 1,3 \times 18 \times 1,60) - 2 \times 3,00 \times 0,375^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 8,81$
- $q_3 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times (1,5 \times 9,00 + 1,3 \times 18 \times 1,60) - 2 \times 7,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 4,25$
- $q_4 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times (1,5 \times 9,00 + 1,3 \times 18 \times 1,60 + 1,3 \times 10,5 \times 2,70) - 2 \times 7,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 10,69$

Per la valutazione di F si considera che la forza di svio si distribuisca cautelativamente solo su n. 3 micropali, per cui si ha:

- $F = 50 / 3 = \text{KN } 16,66$

Azioni allo SLV:

- coefficiente di spinta strato 1 = 0,552
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,464
- coefficiente di spinta strato 3 = 0,449
- $q_1 = \text{KN/ml. } 0,00$
- $q_2 = [0,552 \times \cos(16^\circ) \times 18 \times 1,60 - 2 \times 3,00 \times 0,552^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 6,49$
- $q_3 = [0,464 \times \cos(19,3^\circ) \times 18 \times 1,60 - 2 \times 7,00 \times 0,464^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 1,85$

- $q_4 = [0,464 \times \cos(19,3^\circ) \times (18 \times 1,60 + 10,5 \times 2,70) - 2 \times 7,00 \times 0,464^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 9,30$
- $F (\psi_2 = 0,00) = \text{KN } 0,00$

La condizione dimensionante è evidentemente la SLU; in essa sul micropalo si hanno le seguenti sollecitazioni massime:

- $M_{\max} = \text{KNm. } 35,64$
- $T_{\max} = \text{KN } 24,00$

Spinte allo SLE:

- coefficiente di spinta strato 1 = 0,375
- coefficiente di spinta strato 2 = 0,309
- coefficiente di spinta strato 3 = 0,297
- $q_1 = [0,375 \times \cos(16^\circ) \times 9,00 - 2 \times 3,00 \times 0,375^{1/2}] \times 0,60 \approx \text{KN/ml. } 0,00$
- $q_2 = [0,375 \times \cos(16^\circ) \times (9,00 + 18 \times 1,60) - 2 \times 3,00 \times 0,375^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 5,98$
- $q_3 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times (9,00 + 18 \times 1,60) - 2 \times 7,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 1,94$
- $q_4 = [0,309 \times \cos(19,3^\circ) \times (9,00 + 18 \times 1,60 + 10,5 \times 2,70) - 2 \times 7,00 \times 0,309^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 6,91$
- $F = \text{KN } 0,00$

Si ha uno spostamento in testa diaframma pari a circa cm. 0,83, valore ammissibile per la tipologia di strada e di struttura.

Verifica micropali.

I micropali sono realizzati con perforazioni $\phi 200$ eseguite a quinconce all'interasse complessivo di ml. 0,60 ed armate con tubolare $\phi 139,7 \times 10$ mm. con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Area $A = \text{cmq. } 40,7$
- Momento di inerzia $J = \text{cm}^4 \ 862$
- modulo di inerzia elastico $W_e = \text{cm}^3 \ 123$
- modulo di inerzia plastico $W_p = \text{cm}^3 \ 168,5$
- resistenza a flessione $M_{RD} = 0,3381 \times 168,5 = \text{KNm } 56,96$
- resistenza a taglio $T_{RD} = (2 \times 40,7 \times 33,81 / \pi) / \sqrt{3} = \text{KN } 505,7$

Sul micropalo si hanno le seguenti sollecitazioni massime (vedi schemi precedenti):

- $M_{\max} = \text{KNm. } 35,64 \quad (\text{O.K.})$
- $T_{\max} = \text{KN } 24,00 \quad (\text{O.K.})$

Il cordolo in c.a. in testa ai micropali svolge solo funzioni di collegamento e non necessita quindi di particolari dimensionamenti.

Verifica collasso per rotazione intorno alla base paratia (GEO).

Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R1).

Parametri geomeccanici ridotti con i coefficienti γ_M .

Strato	Parametri strato
1	<ul style="list-style-type: none"> - Angolo attrito $\phi' = 19,6^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cmq } 0,024$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 18,0$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc } 19,0$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 13,1^\circ$) $K_a = 0,445$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,01$
2	<ul style="list-style-type: none"> - Angolo attrito $\phi' = 24^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cmq } 0,056$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 19,5$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc } 20,5$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 16^\circ$) $K_a = 0,375$

	- Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,371$
3	- Angolo attrito $\phi' = 24,8^\circ$ - Coesione $C' = \text{daN/cmq } 0,40$ - Peso volume $G = \text{KN/mc } 21,0$ - Peso volume saturo $G_s = \text{KN/mc } 22,5$ - Coeff. di spinta attiva ($\delta = 16,5^\circ$) $K_a = 0,364$ - Coeff. di spinta passiva ($\delta = 0^\circ$) $K_p = 2,445$

La condizione dimensionante è quella statica.

Sul singolo micropalo si ha:

- $q_1 = [0,445 \times \cos(13,1^\circ) \times 1,3 \times 9,00 - 2 \times 2,40 \times 0,445^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 1,12$
- $q_2 = [0,445 \times \cos(13,1^\circ) \times (1,3 \times 9,00 + 18 \times 1,60) - 2 \times 2,40 \times 0,445^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 8,61$
- $q_3 = [0,375 \times \cos(16^\circ) \times (1,3 \times 9,00 + 18 \times 1,60) - 2 \times 5,60 \times 0,375^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml. } 4,64$
- $q_4 = [0,375 \times \cos(16^\circ) \times (1,3 \times 9,00 + 18 \times 1,60 + 10,5 \times 2,70) - 2 \times 5,60 \times 0,375^{1/2}] \times 0,60 = \text{KN/ml } 10,78$
- $F = \text{KN } 16,66$
- $M_{\text{rib}} = 1,12 \times 1,60 \times 7,50 + 7,49 \times 1,60 / 2 \times 7,23 + 4,64 \times 2,70 \times 5,35 + 6,14 \times 2,70 / 2 \times 4,90 + 16,66 \times 8,30 = \text{KNm. } 303$
- $M_{\text{stab}} = 2 \times 40,00 \times 2,445^{1/2} \times 4,00^2 / 2 + 12,5 \times 2,445^{1/2} \times 4,00^3 / 6 = \text{KNm. } 1.209$
- $M_{\text{stab}} / M_{\text{rib}} = 1.209 / 303 = 3,99 > \gamma_f = 1,00 \quad (\text{O.K.})$

Parte "a sbalzo" cordolo in testa micropali.

Il cordolo in c.a. in testa ai micropali svolge in pratica solo funzioni di collegamento e pertanto in senso longitudinale non abbisogna di nessun particolare dimensionamento.

Per permettere un leggero ampliamento della sede stradale (al massimo circa cm. 40), il cordolo viene dotato di una parte "a sbalzo" in modo da garantire la stabilità della sede stradale anche in caso di cedimento della banchina residua a valle della micropalificata.

Per dimensionamento di queste parte "a sbalzo" si considera il carico isolato di KN 150 con impronta quadrata di lato ml. 0,40 (schema di carico 3 - par. 5.1.3.3.3 NTC 2018), diffuso a 45° fino al piano medio dello "sbalzo".

Stato Limite Ultimo (SLU)

- $B = \text{cm. } 80 \quad H = \text{cm. } 35 \quad h = \text{cm. } 30,5$
- lunghezza "sbalzo" = cm. 40+35
- $M_{\text{max}} = 0,80 \times 1,35 \times (0,75 \times 0,35 \times 25 \times 0,375 + 0,40 \times 0,20 \times 22 \times 0,20 + 0,35 \times 0,40 \times 25 \times 0,575 + 2,00 \times 0,575) + 1,35 \times 150 \times 0,20 = \text{KNm. } 46,95$
- $A_f = A'_f = \phi 16 / 20 = \text{cmq. } 8,04$
- Resistenza ultima $M_{\text{RD}} = \text{KNm. } 94,00 \quad (\text{O.K.})$
- $T_{\text{max}} = 0,80 \times 1,35 \times (0,75 \times 0,35 \times 25 + 0,40 \times 0,20 \times 22 + 0,35 \times 0,40 \times 25 + 2,00) + 1,35 \times 150 = \text{KN. } 217,43$

Ai sensi del par. 4.1.2.3.5.3 NTC 2018 essendo l'asse del carico mobile applicato ad una distanza inferiore a $2h$ (ml. 0,61) dall'appoggio, il taglio si può ridurre del rapporto $0,20 / 0,61$, per cui si ha:

- $T_{\text{max}} = (0,20 / 0,61) \times 217,43 = \text{KN. } 71,29$
- Resistenza ultima:
 $V_{\text{RD}} = [0,18k (100 \rho_1 f_{\text{ck}})^{1/3} / \gamma_c] B h = \text{KN. } 116,27 \quad (\text{O.K.})$
 $k = 1 + (200/h)^{1/2} = 1,81$
 $\rho_1 = 8,04 / (80 \times 30,5) = 0,0033$