

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA
PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DEL TRENTO
Responsabile integrazione fra le varie
prestazioni specialistiche
Dott. Paolo Cucino
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

11 - OPERE CIVILI

C2-INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO INFRASTRUTTURA A PONTE GARDENA

STRUTTURALI - Galleria artificiale

Relazione di calcolo - Fondazioni


APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.


I	B	O	U	1	B	E	Z	Z	C	L	G	A	1	0	0	0	0	0	2	C
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	E. Maiello	15/12/2021	L. Paone	31/12/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino 16/03/2023 ORDINE DEGLI INGEGNERI DEL TRENTO Dott. Paolo Cucino ISCRIZIONE ALBO N° 2216
C	Emissione a seguito di RdV 000000137	E. Maiello	15/12/2021	L. Paone	31/12/2021	D. Buttafoco	19/01/2022	
C	Emissione a seguito di LdR 000000253	E. Maiello	13/03/2023	L. Paone	14/03/2023	D. Buttafoco	15/03/2023	

File: IB0U1BEZZCLGA1000002C.docx	n. Elab.: X
----------------------------------	-------------


APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IBOU	1BEZZ	CL	GA1000002	C	2 di 31

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI	4
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	4
2.2	DOCUMENTI CORRELATI	5
2.2.1	Documenti correlati	5
2.3	SOFTWARE IMPIEGATI	5
3.	ANALISI E VERIFICHE DEI SISTEMI STRUTTURALI	6
3.1	DESCRIZIONE GENERALE DELLE STRUTTURE.....	6
3.1.1	Descrizione dell'intervento	6
4.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	7
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	7
3.2	CRITERI DI ANALISI E VERIFICA	9
5.1.1	Normativa di riferimento	9
5.1.2	Analisi e verifica dei sistemi di fondazione	10
5.2	CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI	12
5.3	CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI.....	13
6.	VERIFICHE GEO/STR	15
6.1	AZIONI DI PROGETTO AGENTI SUI PALI.....	15
6.1.1	Combinazione eccezionale- Valutazione dell'urto.....	16
6.2	RISULTATI DELLE ANALISI	18
6.2.1	Verifiche GEO per carichi verticali.....	22
6.2.2	Verifiche GEO per carichi verticali di trazione	25
6.2.3	Verifiche GEO per carichi orizzontali.....	25
6.2.4	Verifiche STR	28
6.2.5	Cedimenti micropalo.....	28
7.	OPERE PROVVISORIE A SOSTEGNO DELLO SCAVO -CUFFIA DI MICROPALI	29
8.	CONCLUSIONI	31

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. SIST <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo - Fondazioni	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA1000002	REV. C FOGGIO. 3 di 31

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono lo studio delle problematiche progettuali, il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari all'esecuzione delle opere per la realizzazione delle fondazioni della galleria artificiale GA10 nell'ambito del progetto della linea Fortezza – Ponte Gardena Lotto 1.


APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL						
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	4 di 31

2. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

2.1 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

- [1] U.O. Gallerie, documento n.° IBL11BD07RBGA0300001B "FINESTRA FORCH – Relazione geotecnica e di calcolo opere di imbocco";
- [2] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44RGSN1000001A "Relazione tecnico descrittiva";
- [3] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P8SN1000001A "Planimetria generale di inquadramento ante operam - (Pianta coperture)";
- [4] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P8SN1000002A "Planimetria generale di inquadramento post operam - (Pianta coperture)";
- [5] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000003A "Pianta quota copertura 1/2";
- [6] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000004A "Pianta quota copertura 2/2";
- [7] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000005A "Prospetto Lato città";
- [8] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000006A "Prospetto Lato Isarco";
- [9] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26CLGA1000001A "GALLERIA ARTIFICIALE pk 172+172,98 - 172+180,48 – Relazione di calcolo";
- [10] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26PAGA1000001A "GALLERIA ARTIFICIALE pk 172+172,98 - 172+180,48 Carpenterie - Pianta e profilo longitudinale";
- [11] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26BAGA1000001A "GALLERIA ARTIFICIALE pk 172+172,98 - 172+180,48 Carpenterie e sezioni";
- [12] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26PAGA1000002A "GALLERIA ARTIFICIALE pk 172+172,98 - 172+180,48 Pianta scavi, fondazioni e fasi";
- [13] U.O. Geotecnica tratti all'aperto, documento n.° IB0U1AEZZGEGE0006002B "Opere parte A - Relazione geotecnica di caratterizzazione"
- [14] U.O. Geotecnica tratti all'aperto, documento n.° IB0U1BEZZGEGE0006003B "Opere parte B - Relazione geotecnica di caratterizzazione"
- [15] U.O. Opere civili, documento n.° IB0U1BEZZBZGA1000001C "Carpenterie - tav. 1"
- [16] U.O. Opere civili, documento n.° IB0U1BEZZBZGA1000002C "Carpenterie - tav. 2"
- [17] U.O. Opere civili, documento n.° IB0U1BEZZBXGA1000001C "Fasi costruttive"

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	5 di 31

[18] U.O. Opere civili, documento n.° IB0U1BEZZCLGA1000001C "Relazione di calcolo- Opere in elevazione"

2.2 DOCUMENTI CORRELATI

2.2.1 Documenti correlati

I documenti correlati, la cui lettura è consigliata per allargare la conoscenza dell'ambito del quale il presente documento si inquadra, sono:

[19] C. Viggiani (1999). Fondazioni, Hevelius Edizioni.


[20] RFI Rete Ferroviaria Italiana (2017). Manuale di progettazione delle Opere Civili- Parte II- Sezione 2 – Ponti e strutture, revisione B del 22/12/2017, codifica RFI DTC SI PS MA IFS 001 B

[21] CNR n.10024 dell'ottobre 1986. Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo

2.3 SOFTWARE IMPIEGATI

Le verifiche vengono effettuate tramite:

- Group 2019 Ensoft Inc.
- Fogli di calcolo interni.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandataria:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	6 di 31

3. ANALISI E VERIFICHE DEI SISTEMI STRUTTURALI

3.1 DESCRIZIONE GENERALE DELLE STRUTTURE

3.1.1 Descrizione dell'intervento

La galleria artificiale di nuova costruzione verrà realizzata con la linea in servizio e tale caratteristica ne ha influenzato la metodologia costruttiva e la concezione statica.

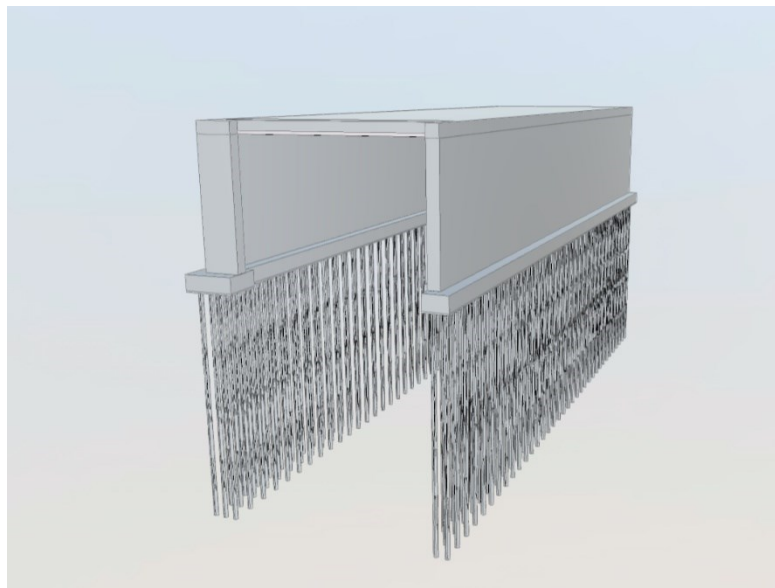


Figura 1: Galleria artificiale con micropali – vista 3D

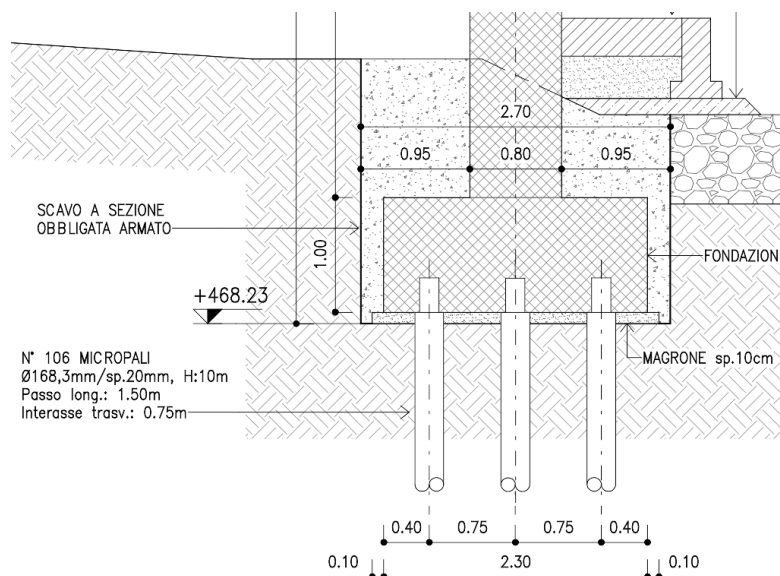



Figura 2: Sezione tipo della fondazione con micropali

In particolare si tratta di una galleria a sezione scatolare interamente fuoriterra senza arco rovescio ma con fondazioni su micropali disposti su tre file. I piedritti dell'altezza di circa 9 metri saranno realizzati in c.a. gettato

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	7 di 31

in opera. La soletta superiore di completamento verrà realizzata in due fasi. Verranno posate le travi in c.a. prefabbricate e successivamente verrà completato il solaio superiore mediante confezionamento delle armature e getto in opera.

La struttura in c.a. verrà poi completata da un rivestimento in pietra naturale (sul prospetto lato Ponte Gardena) e da uno in Cor-Ten sul lato dell'autostrada A22. La copertura sarà completata da un massetto in pendenza e da un rivestimento in acciaio Cor-Ten. Per tale ragione sarà oggetto della relazione anche la struttura portante a sostegno del rivestimento ad esclusione della sola parte immediatamente sotto lo skin.

Dal punto di vista costruttivo verranno realizzate:

1. Opere di fondazione
2. Piedritti
3. Messa in opera delle travi in c.a. prefabbricate
4. Getto di completamento del solaio sovrastante

4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

L'intervento in esame ricade all'interno dei depositi alluvionali recenti, caratterizzati da :

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 37^\circ$$

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

$$E = 50 \text{ MPa}$$


Le analisi sono state effettuate in accordo con la stratigrafia descritta nella Relazione geotecnica di caratterizzazione (Rif. [14]). Per ulteriori dettagli si rimanda a tale relazione.

5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

L'acciaio costituente i micropali presenta le seguenti caratteristiche:

ACCIAIO (Fondazioni e cuffie)	MICROPALI		
S275			
$F_{yk} \geq$	275	N/mm ²	Tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio
$F_{tk} \geq$	430	N/mm ²	Tensione a rottura caratteristica dell'acciaio
$F_{yd} =$	410	N/mm ²	Resistenza di calcolo a trazione
$E_y =$	206000	N/mm ²	Modulo elastico

Tabella 1 : Acciaio per micropali

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	8 di 31

CALCESTRUZZO MICROPALI (Fondazioni e cuffie)	
Classe di resistenza	C25/30
Resistenza a compressione a 28 giorni di calcolo	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 14.16 \text{ MPa}$
Modulo Elastico medio a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{ck}/10)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$

Tabella 2 : Calcestruzzo per micropali


CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MICROPALO (Fondazioni e cuffie)	
Diametro di perforazione	250 mm
Diametro esterno	168.30 mm
Spessore	20 mm
Copriferro	40.85 mm
L	10 m
Tipologia iniezione	IGU

Tabella 3 : Caratteristiche geometriche micropali

La tipologia di pali realizzati tramite iniezioni globali uniche (Palo radice) è quella più utilizzata per questi tipi di micropali. Consiste nelle seguenti fasi:

1. Perforazione con attrezzatura a rotazione e contestuale inserimento di un tubo forma con corona tagliente all'estremità;
2. Circolazione di fango adeguato a far risalire i detriti di scavo;
3. Inserimento dell'armatura metallica non valvolata e getto di calcestruzzo ad alto dosaggio di cemento;
4. Introduzione di aria compressa nella parte di tubo sovrastante la superficie della malta gettata ed estrazione del tubo di trivellazione.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici elencati al par.2.2.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	9 di 31

3.2 CRITERI DI ANALISI E VERIFICA


5.1.1 Normativa di riferimento

Sono state utilizzate primariamente le norme tecniche sulle costruzioni vigenti [N1] e la relativa circolare [N2]. Tuttavia, in alcuni casi coerentemente a quanto stabilito al capitolo 12 in [N1] si è preferita l'adozione degli Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN adottando dove presenti le precisazioni delle Appendici Nazionali Italiane.

Dove non presenti specifiche indicazioni, sono state adottate le circolari e le istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, le linee guida del servizio tecnico centrale e le istruzioni e documenti del C.N.R.

Il presente studio è stato redatto con l'ausilio del documento CNR [N7] e rispettando i principi di cui al punto capitolo 10 in [N1].

- [N1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- [N2] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008".
- [N3] UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [N4] P.C.S.LL.PP., "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive"
- [N5] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 02/02/2018, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- [N6] UNI EN 1992-1-1:2005, Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [N7] CNR n.10024 dell'ottobre 1986. Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo
- [N8] CNR-DT 207/2008 del gennaio 2009. Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	10 di 31

5.1.2 Analisi e verifica dei sistemi di fondazione

Le verifiche geotecniche dell'opera constano del dimensionamento geotecnico della palificata di fondazione, in termini di diametro, numero e disposizione dei pali.

In particolare, si esegue la seguente procedura di calcolo:

- calcolo della quintupla di azioni (F_x , F_y , F_z , M_x ed M_y) ad intradosso zattera di fondazione, risultanti dalle combinazioni di carico su descritte;
- calcolo dei carichi assiali su ciascun palo;
- dimensionamento dei pali di fondazione ai fini del soddisfacimento delle verifiche di capacità portante degli stessi.

Le opere in oggetto presentano un muro di sostegno poggiate su una fondazione costituita da micropali trivellati iniettati a bassa pressione, incastrati in una soletta.

In accordo con le NTC08, le verifiche delle fondazioni su pali devono essere effettuate con riferimento ad almeno i seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
 - Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
 - Collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
 - Stabilità globale;
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza dei pali;
 - Raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

Le verifiche di stabilità globale devono essere effettuate mediante l'approccio A2-M2-R2. Tutte le altre verifiche devono essere effettuate secondo almeno uno dei due approcci seguenti:

Approccio 1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Approccio 2:

- A1+M1+R3

Le verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2 tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II.


APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL						
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IBOU	1BEZZ	CL	GA1000002	C	11 di 31


Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	12 di 31

5.2 CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI

Il calcolo della capacità portante dei micropali di fondazione è condotto con i coefficienti parziali da applicare alla resistenza laterale e alla punta che tengono conto del fattore di correlazione ξ .

In ciascuna combinazione prevista deve risultare:

$$Q_{Rd} \geq Q_{Sd}$$

Dove:

$$Q_{rd} = \frac{1}{\xi} \left(\frac{Q_{sk}}{\gamma_{rl}} + \frac{Q_{bk}}{\gamma_{rb}} \right)$$

Nelle precedenti espressioni, i simboli hanno i seguenti significati:

$$Q_s = \pi D L s$$

Dove:

- D è il diametro del palo;
- L è la lunghezza del palo;
- q_{bk} è la pressione limite caratteristica alla base del palo;
- s è la tensione tangenziale lungo il palo;
- R_i e ξ sono i coefficienti di abbattimento delle resistenze


Per i micropali il valore di resistenza alla base si può porre pari a 0.15 volte il carico limite laterale.

Il carico limite verticale dei pali è pari quindi a 1.15 volte il carico limite laterale.

Il valore di resistenza viene abbattuto per gli opportuni coefficienti parziali, in funzione della combinazione di carico utilizzata (Tabella 4), e per i fattori di correlazione ξ in funzione del numero di verticali indagate (Tabella 5):

	Coefficiente Parziale (γ_R)	Pali trivellati		
		R1	R2	R3
Base	γ_b	1.0	1.7	1.35
Laterale in compressione	γ_s	1.0	1.45	1.15
Laterale in trazione	γ_{st}	1.0	1.6	1.25

Tabella 4 : Coefficienti parziali per pali trivellati

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL						
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	13 di 31

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Tabella 5: Fattori di correlazione

Per quanto riguarda i pali soggetti a trazione, si considera come resistenza solo la resistenza laterale calcolata tramite la teoria di Bustamante e Doix (1985).

5.3 CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI

Il carico limite orizzontale si ricava in accordo alla teoria di Broms (1984) per micropali con rotazione in testa impedita.

Tale metodo si basa sui tre possibili meccanismi di rottura che il micropalo può subire (Figura 3).

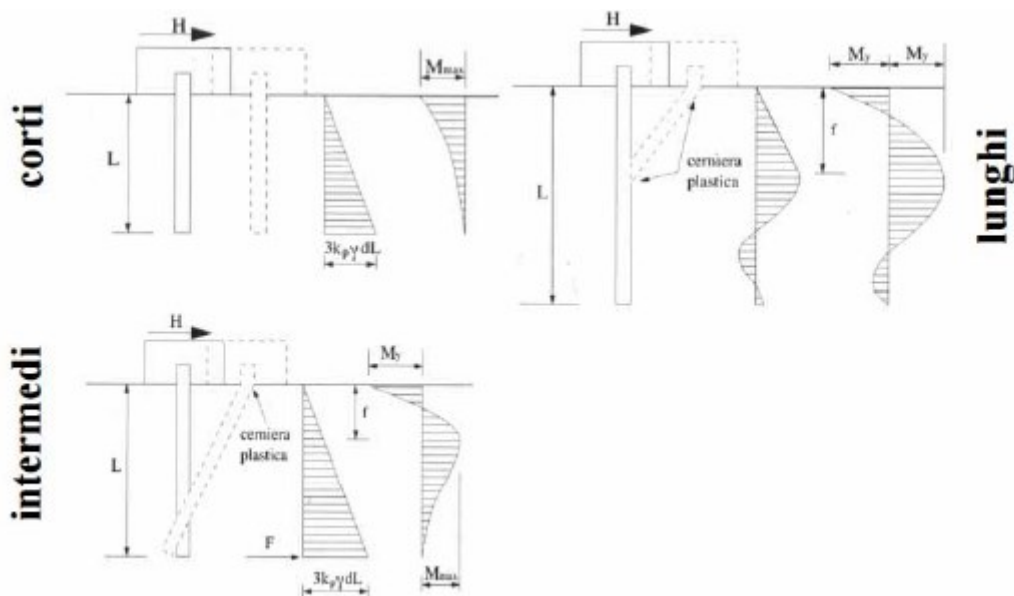



Figura 3: Meccanismi di rottura proposti da Broms

I valori di carico limite per terreni incoerenti sono quindi distinti in funzione del meccanismo che si verifica.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria								
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	14 di 31

Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$


Palo intermedio:
$$H = \frac{1}{2}k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo:
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$$

Dove:

- H è il carico limite orizzontale del micropalo;
- K_p è il valore di resistenza passiva del terreno;
- M_y è il momento di plasticizzazione del micropalo
- L è la lunghezza del micropalo;
- d è il diametro del micropalo;
- γ è il peso specifico del terreno;

Il carico limite H che si ottiene deve essere poi confrontato con la massima azione di taglio agente sui pali.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	15 di 31

6. VERIFICHE GEO/STR

6.1 AZIONI DI PROGETTO AGENTI SUI PALI

Con riferimento alla seguente figura sono riassunti per tutte le combinazioni di carico semplici (valori caratteristici) i valori delle *risultanti agenti sulla fondazione*. I segni sono positivi intesi come nella direzione di figura e valgono per unità di lunghezza.

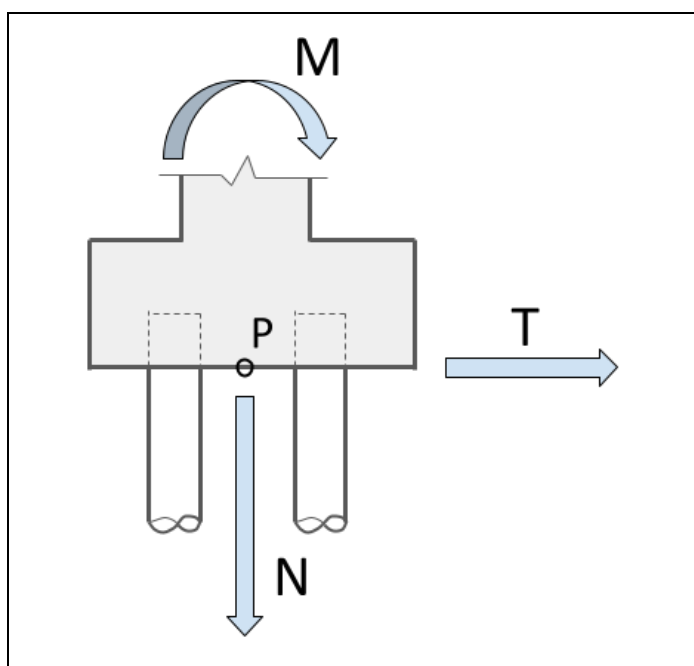



Figura 4: schematizzazione degli scarichi in fondazione

ID	Combinazione di carico semplice	N [KN/m]	M [KNm/m]	T[KN/m]
SW	Pesi propri	324.40	0.00	0.00
DL	Sovraccarichi permanenti	24.90	-23.43	-8.19
SL	Carico neve in copertura	11.70	-11.01	-3.85
EX+	Sisma in direzione orizzontale +	-39.93	473.14	88.60
EX-	Sisma in direzione orizzontale -	39.93	-473.14	-88.60
DTU	Distorsione termica uniforme	0.00	-118.17	-18.53
DTD	Distorsione termica a farfalla	0.00	-165.12	0.00
WLX+	Vento in direzione orizzontale +	-6.92	23.57	7.84
WLX-	Vento in direzione orizzontale -	-6.13	-9.00	-2.20
APL	Pressione aereodinamica del treno	-3.30	1.34	0.04
ACIM-MID	Urto nella zona corrente	0.00	67.00	31.00

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria								
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	16 di 31

ACIM-RIG	Urto all'imbocco (fascia di 9m)	0.00	70.00	52.00
----------	---------------------------------	------	-------	-------

Tabella 6 : Azioni in fondazione

Ciascuna componente di sforzo viene combinata secondo le due combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica (SLV):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Si ottengono così le due combinazioni di carico, i quali valori sono riportati in tabella:

COMBINAZIONE SLU – A1+M1+R3			
N (+)tot [kN/m]	Ttot [kN/m]	Mtot [kNm/m]	e [m]
476.62	-49.16	-490.10	-1.03
[kN]	[kN]	[kNm]	e [m]
714.93	-73.73	-735.14	-1.03


Tabella 7 : Combinazione di carico SLU

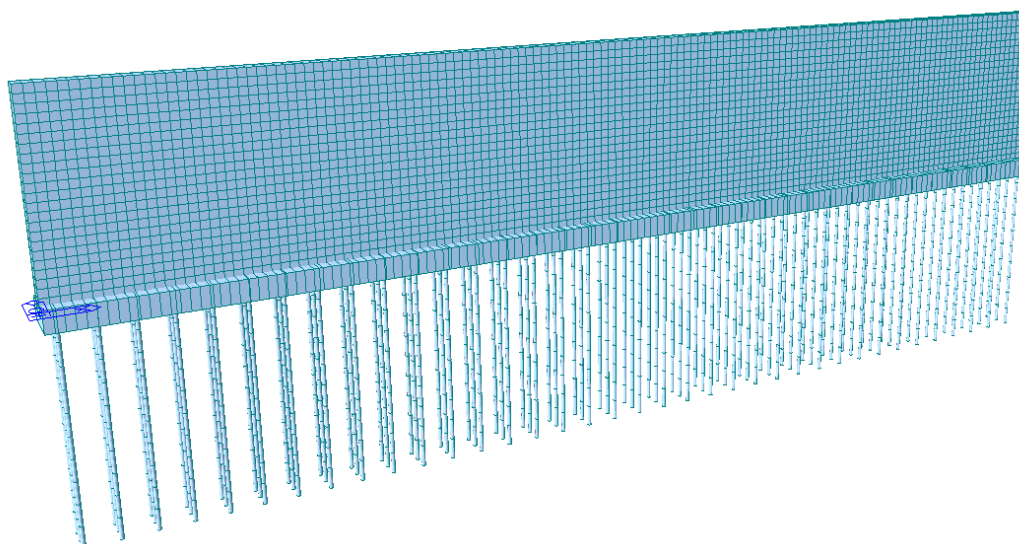
COMBINAZIONE SLV + SISMA			
Ntot [kN/m]	Ttot [kN/m]	Mtot [kNm/m]	e [m]
389.23	-96.79	-496.57	-1.28
[kN]	[kN]	[kNm]	e [m]
583.85	-145.19	-744.86	-1.28

Tabella 8 : Combinazione di carico SLV

6.1.1 Combinazione eccezionale- Valutazione dell'urto

Per la valutazione del taglio derivante dall'urto sulla testa dei pali per non essere eccessivamente conservativi si è realizzato un modello completo con la sovrastruttura identica al precedente modello, ma aggiungendo la fondazione rettangolare come da progetto di dimensioni 230x100. Collegata con la fondazione sono stati modellati i micropali di fondazione vincolati con link elastici lineari nelle direzioni x ed y.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	17 di 31



I micropali di lunghezza pari a 10m sono stati suddivisi in 10 elementi assegnando lungo l'altezza le seguenti rigidezze uguali per tutti i pali.

Le rigidezze verticali e orizzontali per ciascun palo sono state ottenute mediante l'applicazione nel baricentro della fondazione di una sollecitazione unitaria in direzione z. In questo modo, è stato possibile ottenere gli spostamenti verticali di ciascun palo e le rispettive forze assiali agenti, nel seguente modo:


$$K_{zi} = \frac{V_z}{u_z} \text{ (kN/m)}$$

$$K_{xi} = \frac{V_x}{u_x} \text{ (kN/m)}$$

$$K_{yi} = \frac{V_y}{u_y} \text{ (kN/m)}$$

Le rigidezze ottenute sono le seguenti:

z	Kx	Ky	Kz
m	KN/m	KN/m	KN/m
0	125207	61380	
1	76443	204648	
2	735846	590600	
3	374658	222176	
4	258393	1383435	
5	756363	382247	
6	297697	1706011	
7	1087988	479738	

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL						
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	18 di 31

8	384219	1750360	
9	1007852	483415	
10	125207	61380	325123

Tabella 9 : Rigidezze lungo i pali

Le azioni che si ricavano sono riportate nelle ultime due righe della Tabella 6. Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione delle opere in elevazione (Rif. [5]).

Le risultanti delle azioni applicate in fondazione sono le seguenti:

COMBINAZIONE ECCEZIONALE MAX - Urto all'imbocco			
Ntot [kN/m]	Ttot [kN/m]	Mtot [kNm/m]	e [m]
349,30	43,81	46,57	0,13
[kN]	[kN]	[kNm]	e [m]
523,95	65,72	69,86	0,13

Tabella 10 : Combinazione di carico SLV

La combinazione eccezionale risulta meno gravosa rispetto alla combinazione sismica, per tale motivo si ritiene sufficiente la verifica nelle condizioni SLU e SLV.

6.2 RISULTATI DELLE ANALISI

La fondazione è costituita da una soletta di larghezza 2.3 m e un'altezza di 1m poggiante su una maglia di micropali lunghi 10 m, con diametro di perforazione 250 mm e un tubolare di 168.3 mm per 20 mm in acciaio S275.

Essendo una fondazione estesa lungo la direzione orizzontale, ai fini dell'analisi, viene considerata una striscia di fondazione con larghezza pari all'interasse orizzontale tra i pali.

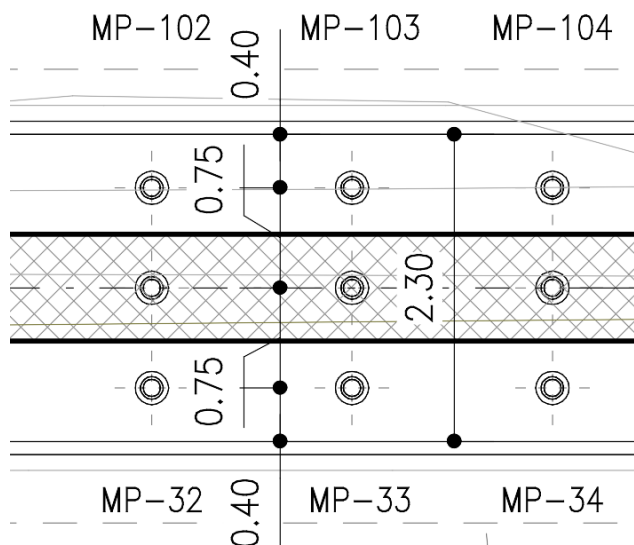



Figura 5: Vista in pianta della fondazione

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO						
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA1000002	REV. C	FOGLIO. 19 di 31

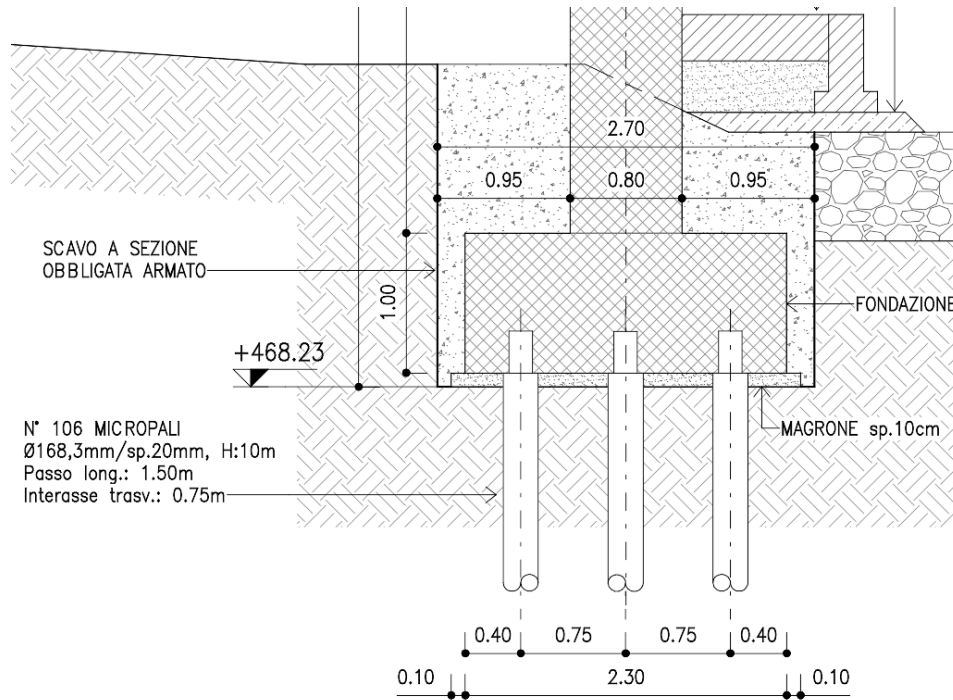


Figura 6: Vista in sezione della fondazione

Le sollecitazioni sono state ricavate tramite l'ausilio del software Group che permette di distribuire gli sforzi che arrivano in fondazione, su ciascun palo.

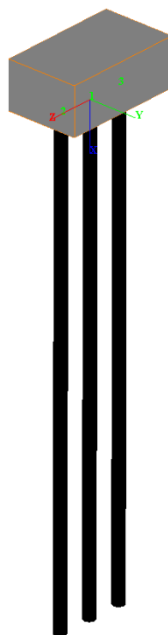



Figura 7: Vista della palificata sul software Group

APPALTATORE:		 PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:							REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL				C	20 di 31
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO		
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002		

Le sollecitazioni che si ricavano su ciascun palo sono le seguenti:

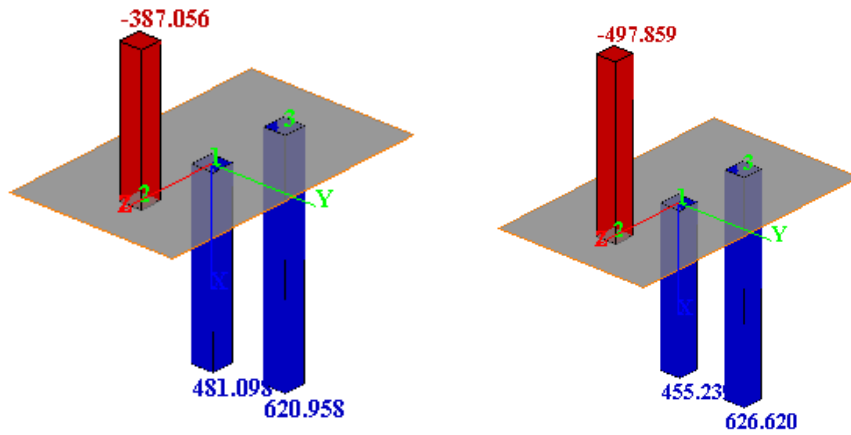


Figura 8 : Sforzo assiale sui pali in condizioni SLU (sx) e SLV (dx)

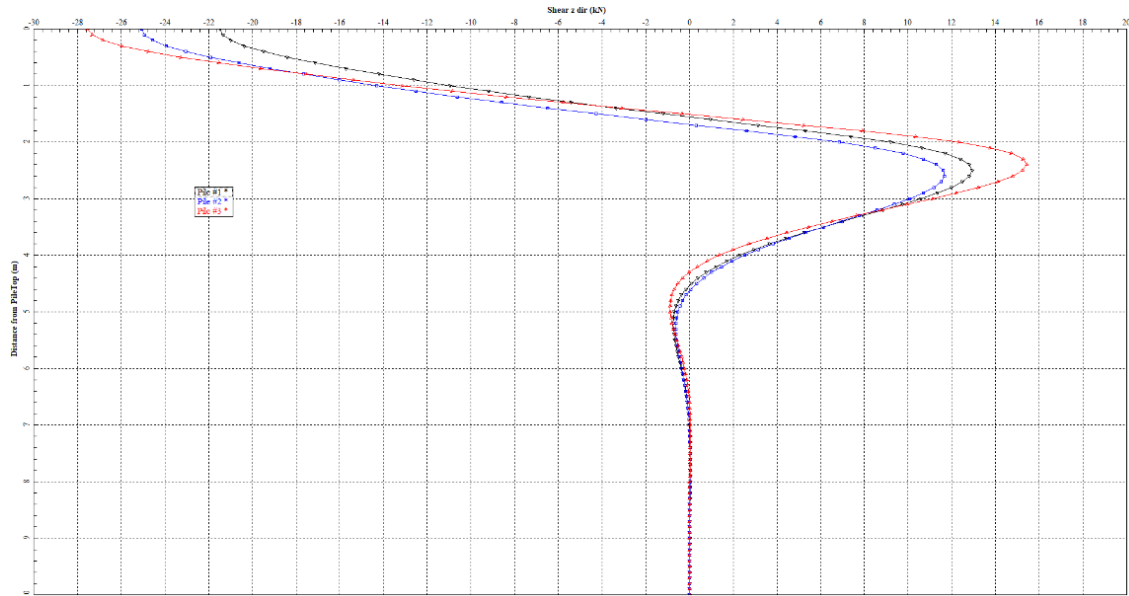


Figura 9 : Sollecitazione da taglio sui pali in condizioni SLU


APPALTATORE:									
PROGETTAZIONE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
Mandatario:		Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A. SIST		PINI ITALIA M Ingegneria		GDP GEOMIN		SIFEL			
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	21 di 31



Figura 10 : Sollecitazione da taglio sui pali in condizioni SLV

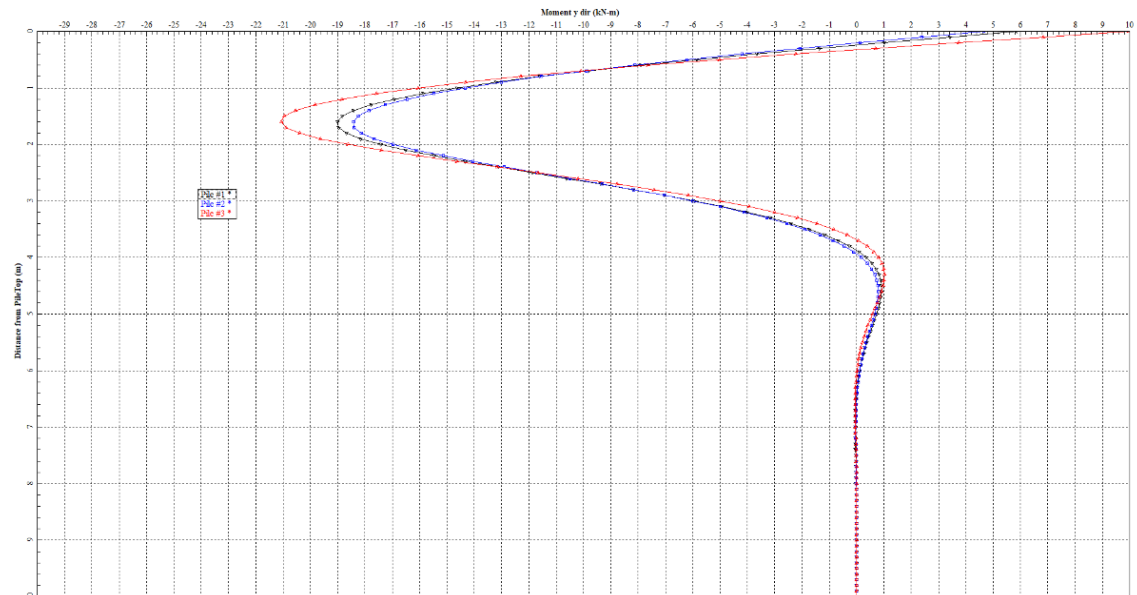



Figura 11 : Momento flettente sui pali in condizioni SLU

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria								
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	22 di 31

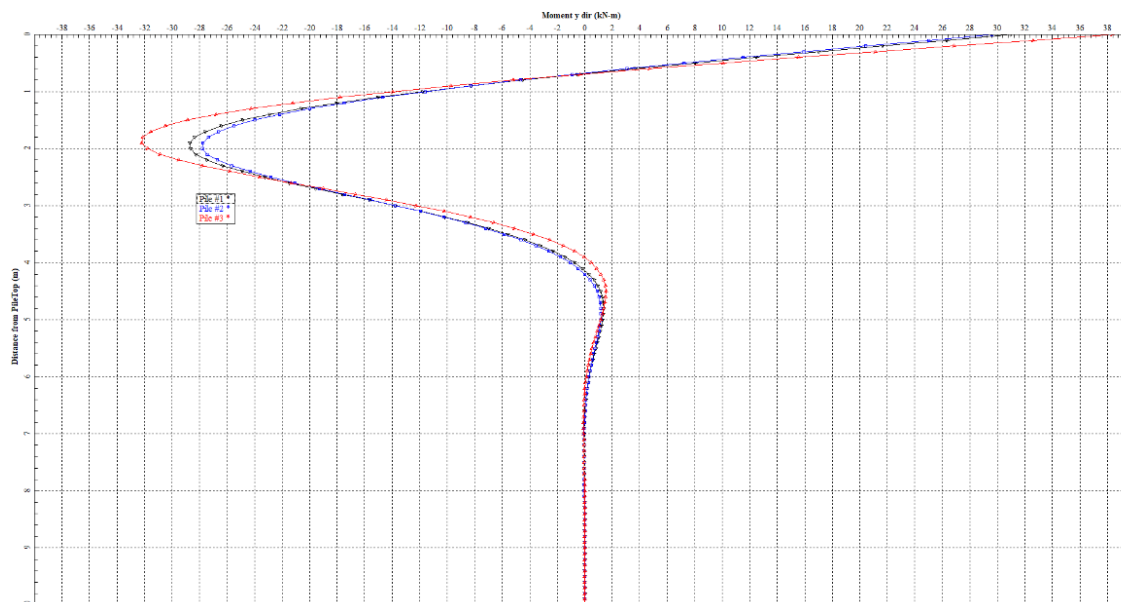


Figura 12 : Momento flettente sui pali in condizioni SLV

Le tabelle seguenti mostrano le sollecitazioni in testa a ciascun palo, nelle due combinazioni analizzate:

SLU			
n palo	N [kN]	T [kN]	M [kN*m]
1	482	-22	6
2	-388	-24	4
3	622	-28	10

SLV			
n palo	N [kN]	T [kN]	M [kN*m]
1	456	-44	31
2	-499	-50	30
3	627	-53	39

Tabella 11: Sollecitazioni su ciascun palo

6.2.1 Verifiche GEO per carichi verticali

La palificata di fondazione insiste sui depositi alluvionali recenti *ar*, caratterizzati da:


$$\phi' = 37^\circ$$

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

In condizioni SLU, il palo più caricato a compressione risulta essere il palo 3, ovvero quello posto più distante dall'asse baricentrico:

$$N_3 = 627 \text{ kN}$$

In accordo con il manuale di progettazione (Rif. [20]), il carico limite verticale del micropalo lungo 10 metri sarà calcolato come:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria								
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IBOU	1BEZZ	CL	GA1000002	C	23 di 31

$$Q_{lim} = P+S$$

Dove:

- P è il carico limite di punta;
- S è il carico limite laterale.

Il carico limite laterale si può calcolare, per il caso dei micropali secondo la teoria di Bustamante e Doix (Rif [19]): il carico limite alla punta P può essere stimato pari al 10-15% del carico limite laterale S.

$$P = \pi d_s L_s s$$

Si assume $d_s = \alpha d$, dove d è il diametro di perforazione e α un coefficiente maggiorativo in funzione del tipo di terreno e del tipo di iniezione del micropalo. In particolare utilizzando un micropalo con tecnologia IGU in un terreno ghiaioso – sabbioso, si utilizza $\alpha = 1.2$.

In accordo con la relazione geotecnica dei tratti all'aperto (Rif. [14]), si è deciso di utilizzare un valore di $N_{spt} = 40$. Per ulteriori dettagli si rimanda a tale relazione.

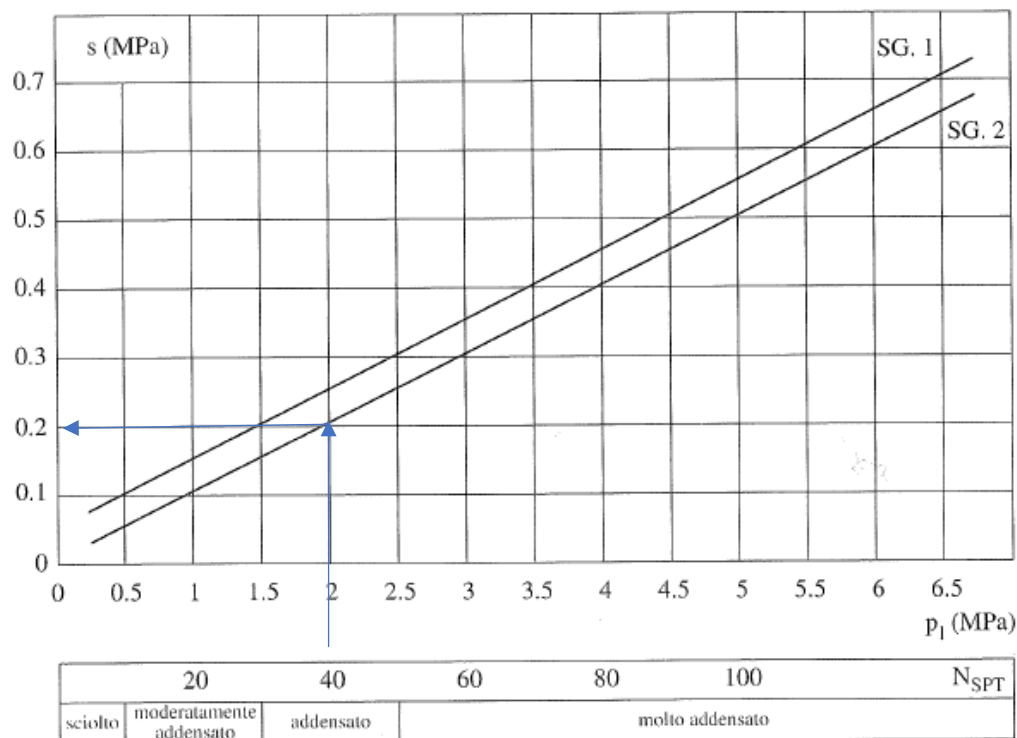



Figura 13 : Abaco per il calcolo di s in sabbie e ghiaie

Avendo un valore di $s = 200$ kPa, il carico limite laterale sarà:

$$S = \pi d_s L_s s = 1884 \text{ kN}$$

Di conseguenza il carico limite del micropalo sarà:

$$P = 0.15 * S = 283 \text{ kN}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	24 di 31


Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $Q_{s,k}$ è dato dal minore dei valori ottenuti applicando al valore medio e al valore minimo delle resistenze calcolate i fattori di correlazione ξ riportati nella Tab. 6.4.IV, in funzione del numero n di verticali di indagine.

$$Q_{s,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

In particolare, per i muri di sponda si è considerato un numero di verticali pari a 1, ξ sarà pari a 1,70.

La capacità portante caratteristica sarà:

$$Q_{s,d} = Q_{s,k}/1.15/ 1,7 = 1108 \text{ kN}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria								
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	25 di 31

Dal confronto tra le azioni massime sollecitanti e la capacità portante del palo, si ottengono i seguenti risultati:

	Q _{lim} (+) [kN]	N _{max} (+) [kN]	FS
SLU	1108	622	1.78
SLV	1108	627	1.77

Tabella 12: Verifiche a carico limite di compressione

Essendo:

$$E_d < R_d$$

La verifica risulta soddisfatta.

Per quanto riguarda la verifica dei pali in gruppo, per terreni incoerenti si può porre l'efficienza della palificata pari ad 1. Per questo motivo la verifica dei pali in gruppo non si ritiene necessaria.

6.2.2 Verifiche GEO per carichi verticali di trazione

Il carico limite a trazione invece sarà, utilizzando sempre la teoria di Bustamante & Doix (Rif.[19]).

$$Q_{lim, traz, k} = \pi d_s L_s s = 1884 \text{ kN}$$

Tenendo conto del fattore di sicurezza $\gamma_R = 1.25$ e del coefficiente di correlazione ξ , il carico limite a trazione sarà 887 kN. A favore di sicurezza non si tiene in conto del peso del palo.

I risultati ottenuti dalle verifiche sono riassunti nella seguente tabella.

	Q _{lim} (-) [kN]	N _{max} (-) [kN]	FS
SLU	886.59	-388.00	2.29
SLV	886.59	-499.00	1.78

Tabella 13: Verifiche a carico limite di trazione


Tutte le verifiche risultano quindi soddisfatte.

6.2.3 Verifiche GEO per carichi orizzontali

Le verifiche per carico limite orizzontale vengono effettuate in accordo la teoria di Broms (Rif. [19]) per pali incastrati in testa in terreni incoerenti.

Il valore di H che se ne ricava, ridotto per gli opportuni coefficienti proposti dalla normativa, deve essere confrontato con il taglio agente sul palo.

Come si evince dalle seguenti figure, le verifiche risultano soddisfatte sia in condizioni SLU che SLV.

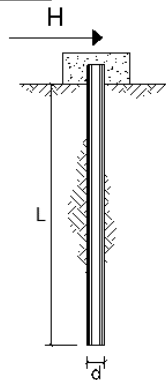
APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11	-	OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni			IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	26 di 31

**CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI
PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA**

OPERA: Pali fondazione

TEORIA DI BASE:
(Broms, 1964)

coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_ψ	γ_π
			γ_G	γ_Q		
SLU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	●	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		○	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.00	1.00	1.00	1.30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio:
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo:
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}}$$

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	10.00	(m)		
Diametro del palo	d =	0.25	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	$M_y =$	115.09	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\phi'_{med} =$	37.00	(°)	$\phi'_{min} =$	37.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\phi'_{med,d} =$	37.00	(°)	$\phi'_{min,d} =$	37.00 (°)
Coeff. di spinta passiva ($k_p = (1 + \sin\phi')/(1 - \sin\phi')$)	$k_{p,med} =$	4.02	(-)	$k_{p,min} =$	4.02 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$)	$\gamma =$	10.00	(kN/m ³)		
Carico Assiale Permanente (G):	G =	28	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)		

Palo corto:
 $H1_{med} = 1508.55$ (kN) $H1_{min} = 1508.55$ (kN)

Palo intermedio:
 $H2_{med} = 514.36$ (kN) $H2_{min} = 514.36$ (kN)

Palo lungo:
 $H3_{med} = 121.65$ (kN) $H3_{min} = 121.65$ (kN)

$H_{med} = 121.65$ (kN) palo lungo $H_{min} = 121.65$ (kN) palo lungo


$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 71.56$ (kN)

$H_d = H_k/\gamma_\pi = 55.04$ (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 28.00$ (kN)

$FS = H_d / F_d = 1.97$

Figura 14 : Verifica a carico limite orizzontale in condizioni SLU

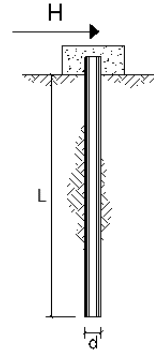
APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"								
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO						REV. C	FOGLIO. 27 di 31
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA1000002			

**CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI
PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA**

OPERA: Pali fondazione

TEORIA DI BASE:
(Broms, 1964)

coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti γ _G	variabili γ _Q	γ _φ	γ _T
SU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	●	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		○	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		○	1.30	1.50	1.00	1.00



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

Palo corto:
$$H = 1.5 k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio:
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo:
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}}$$

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	10.00	(m)		
Diametro del palo	d =	0.25	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	M _y =	115.09	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	φ' med =	37.00	(°)	φ' min =	37.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	φ' med,d =	37.00	(°)	φ' min,d =	37.00 (°)
Coeff. di spinta passiva (k _p = (1+sinφ)/(1-sinφ))	k _{p med} =	4.02	(-)	k _{p min} =	4.02 (-)
Peso di unità di volume (con falda γ = γ')	γ =	10.00	(kN/m ³)		
Carico Assiale Permanente (G):	G =	54	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)		

Palo corto:
H1_{med} = 1508.55 (kN) H1_{min} = 1508.55 (kN)

Palo intermedio:
H2_{med} = 514.36 (kN) H2_{min} = 514.36 (kN)

Palo lungo:
H3_{med} = 121.65 (kN) H3_{min} = 121.65 (kN)

H_{med} = 121.65 (kN) palo lungo H_{min} = 121.65 (kN) palo lungo


H_k = Min(H_{med}/ξ₃ ; R_{min}/ξ₄) = 71.56 (kN)

H_d = H_k/γ_T = 55.04 (kN)

F_d = G · γ_G + Q · γ_Q = 54.00 (kN)

FS = H_d / F_d = 1.02

Figura 15 : Verifica a carico limite orizzontale in condizioni SLV

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria								
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IBOU	1BEZZ	CL	GA1000002	C	28 di 31

6.2.4 Verifiche STR

Le verifiche vengono effettuate sul tubolare costituente il micropalo di fondazione, utilizzando la formulazione proposta da Navier. La tensione sollecitante di calcolo viene valutata come tensione ideale, secondo quanto proposto dal D.M. 14/01/2008 (cfr. § 4.2.4.1.2), mentre la tensione resistente di calcolo dell'acciaio è ottenuta mediante riduzione della tensione caratteristica, f_{yk} attraverso il coefficiente parziale $\gamma_{M0} = 1,05$: $f_{yd} = 261.91$ MPa.

Palo	M_{Ed}	T_{Ed}	A_{tubo}	A_v	W_{pl}	σ_{Ed}	τ_{Ed}	σ_{id}	FS
[-]	[kNm]	[kN]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ³]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	19.01	21.49	9317.96	5932.00	442524.47	42.97	4.56	43.12	6.06
2	18.42	25.04				41.64	5.31	41.85	6.24
3	21.07	27.53				47.61	5.84	47.84	5.46

Tabella 14: Verifica STR allo SLU

Palo	M_{Ed}	T_{Ed}	A_{tubo}	A_v	W_{pl}	σ_{Ed}	τ_{Ed}	σ_{id}	FS
[-]	[kNm]	[kN]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ³]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	30.96	43.47	9317.96	5932.00	442524.47	98.81	12.50	99.30	2.63
2	29.62	49.62				66.93	10.52	67.45	3.87
3	38.34	53.11				86.65	11.26	87.11	3.00

Tabella 15: Verifica STR allo SLV

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

6.2.5 Cedimenti micropalo

I cedimenti attesi su ciascun micropalo sono i seguenti (in condizione SLU e SLV):

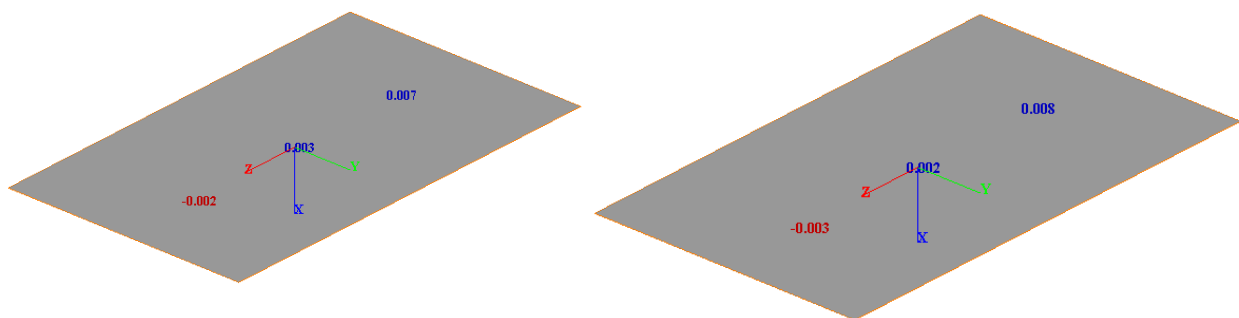



Figura 16 : Sforzo assiale sui pali in condizioni SLU (sx) e SLV (dx)

Tali cedimenti sono di massimo 8 mm e quindi sono ritenuti accettabili.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL						
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	29 di 31

7. OPERE PROVVISORIE A SOSTEGNO DELLO SCAVO -CUFFIA DI MICROPALI

In adiacenza alla fondazione della galleria artificiale si trova un plinto della trazione elettrica esistente posto ad una quota di 469.05 m.s.l.m..

Vista la differenza di quota presente tra il piano di posa della fondazione della galleria artificiale e del plinto della TE, si è reso necessario la realizzazione di una paratia di micropali, così come indicato nella sezione:

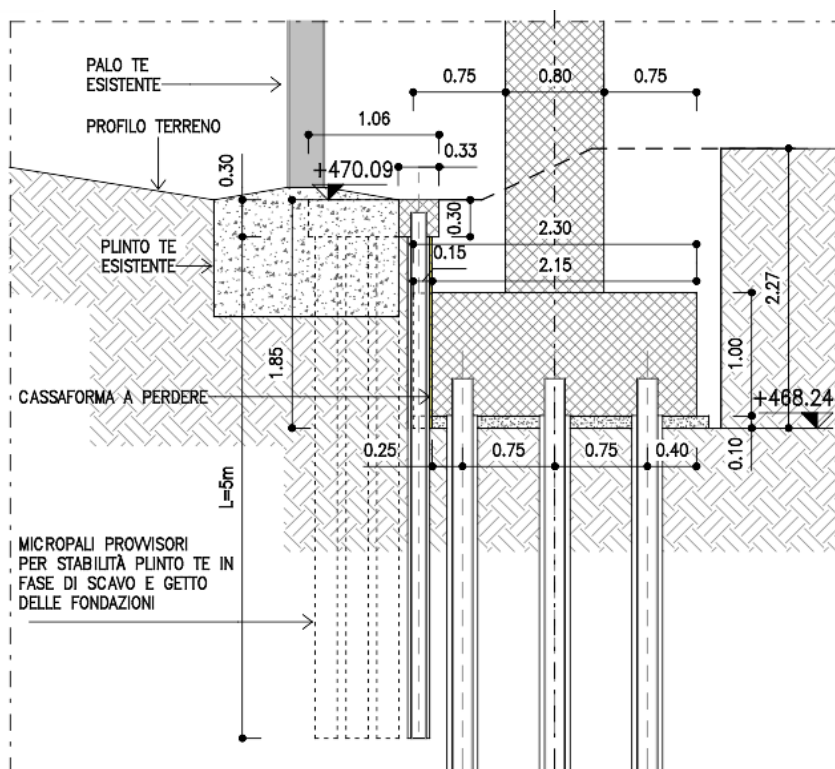



Figura 17: Vista in sezione

La paratia in oggetto è costituita da micropali aventi diametro di perforazione di 180 mm e un tubolare interno di 127.9 mm e spessore 10 mm.

I materiali utilizzati sono i medesimi riportati all'interno della Tabella 2 e Tabella 3 .

APPALTATORE:		 PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"							
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO							
Mandatario:		Mandanti:							
SWS Engineering S.p.A. SIST		PINI ITALIA M Ingegneria		GDP GEOMIN		SIFEL			
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	GA1000002	C	30 di 31

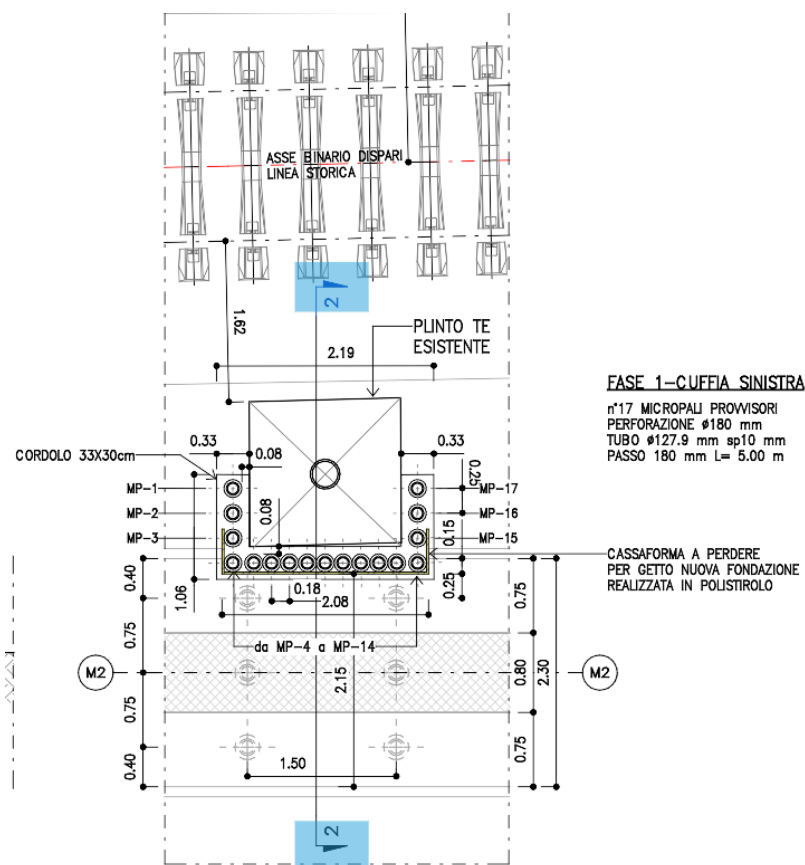



Figura 18: Vista in pianta

Lo scopo della paratia di micropali è quello di evitare la realizzazione di uno scavo che porti ad una rimozione del terreno in prossimità del plinto e, di conseguenza, a compromettere la stabilità dello stesso.

Si è quindi deciso di disporre i micropali ad un interasse pari al diametro di perforazione nella zona in adiacenza alla galleria artificiale col fine di evitare lo sgottamento del terreno all'interno dello scavo e la salvaguardia della stabilità del plinto. Ai lati si è mantenuto un'interasse pari a 0,25 m poiché non esiste tale necessità.

I micropali sono collegati da un cordolo 33cm x 30 cm.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. SIST Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
11 - OPERE CIVILI Relazione di calcolo - Fondazioni	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA1000002	REV. C	FOGLIO. 31 di 31

8. CONCLUSIONI

La presente relazione tratta la progettazione delle opere di fondazione dei galleria artificiale GA10.

Le soluzioni progettuali previste sono state verificate nelle condizioni ritenute più significative per il comportamento delle opere e sono state condotte tutte le verifiche previste dalla Normativa a dimostrazione dell'adeguatezza e dell'efficacia delle soluzioni progettuali sia in fase costruttiva sia nella configurazione finale ed in condizioni sismiche.