

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA  
PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROV. DI TRENTO  
Responsabile integrazione fra le varie  
prestazioni specialistiche  
Dotting. PAOLUCCINO  
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 - Adeguamento BA su Ponte Rio Gardena

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	B	A	0	9	0	0	0	0	1	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  ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dotting. PAOLUCCINO ISCRIZIONE ALBO N° 2216
B	Emissione a seguito di RdV 0000000137	E. Maiello	15/07/2022	L. Paone	15/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di RdV 0000000253	E. Maiello	13/03/2023	L. Paone	14/03/2023	D. Buttafoco	15/03/2023	

File: IB0U1BEZZCLBA0900001C.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	2 di 35

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI</b> .....	<b>9</b>
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	9
2.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	9
2.2.1	Documenti referenziati .....	9
2.2.2	Documenti correlati .....	10
2.3	SOFTWARE IMPIEGATI .....	10
<b>3.</b>	<b>SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO</b> .....	<b>11</b>
3.1	UNITÀ DI MISURA.....	11
3.2	SINTESI DELLE ANALISI E DELLE VERIFICHE RIPORTATE .....	11
3.2.1	Caratteristiche dei materiali.....	12
3.2.2	Inquadramento geotecnico.....	12
2.2	CRITERI DI ANALISI E VERIFICA .....	13
3.3.1	Normativa di riferimento .....	13
3.3.2	Analisi e verifica dei sistemi di fondazione .....	14
3.4	CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI .....	16
3.5	CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI.....	17
<b>4.</b>	<b>RIEPILOGO SOLLECITAZIONI ALLA BASE</b> .....	<b>19</b>
4.1	RISULTATI DELLE ANALISI .....	23
4.1.1	Verifiche GEO per carichi verticali di compressione .....	28
4.1.2	Verifiche GEO per carichi verticali di trazione .....	30
4.1.3	Verifiche GEO per carichi orizzontali.....	31
4.1.4	Verifiche STR SLU -SLV.....	34
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>35</b>

APPALTATORE:		 <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:							REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL					C	3 di 35
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO		
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001		

## 1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto le verifiche strutturali delle opere di scavalco del Rio Gardena previste nell'ambito dei lavori di "Quadruplicamento ferroviario della linea Fortezza – Verona – Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena". Lo scavalco si colloca tra le progressive 172+274.31 e 172+302.12 (Binario Pari).

Lo scavalco viene realizzato in corrispondenza del ponte esistente, tra il muro Zona 1 e la galleria artificiale.

La struttura in progetto è realizzata per consentire il montaggio delle nuove barriere antirumore e l'accesso alla massicciata ferroviaria per scopi manutentivi o similari.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico per la localizzazione dell'opera.

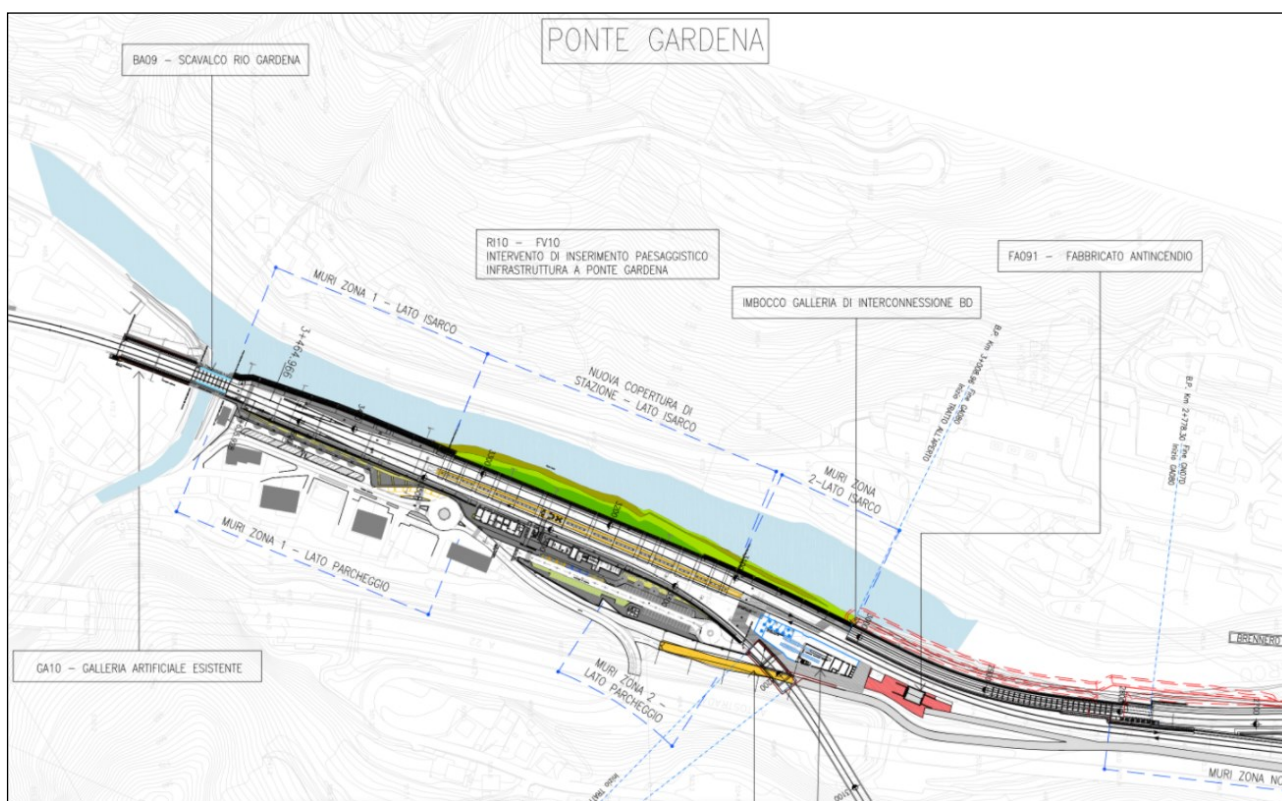



Figura 1-1: Planimetria.

Lo scavalco Rio Gardena viene realizzato in corrispondenza del ponte esistente, tra il muro zona 1 e la galleria artificiale GA10.

L'opera è composta da n. 10 portali posti ad interasse di 3m composti da montanti sono realizzati con profilati HEM 360 mentre la trave di copertura è realizzata con profilati HEB 360.

Tali portali sono collegati a livello della copertura da un sistema di controventamento di piano costituito controventi longitudinali UPN300 e controventi a corce L60x6.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
<b>11</b>	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA0900001</b>	<b>C</b>	<b>4 di 35</b>

I portali poggiano su una coppia di travi di lunghezza complessiva pari a 28m (luce appoggi 27m) e realizzate con sezione a doppio T, composta e saldata, con le seguenti caratteristiche geometriche:

- Altezza totale = 1400 mm;
- Larghezza piattabanda superiore = 500 mm;
- Larghezza piattabanda inferiore = 500 mm;
- Spessore piattabanda superiore = 40 mm;
- Spessore piattabanda inferiore = 40 mm;
- Spessore anima = 20 mm.


Le due travi principali sono a loro volta collegate da traversi composti da piatti saldati posti ad interasse di 3 metri a formare una struttura reticolare viereendel per sollecitazioni nel piano.

Le dimensioni dei traversi sono:

- Altezza totale = 1400 mm;
- Larghezza piattabanda superiore = 500 mm;
- Larghezza piattabanda inferiore = 500 mm;
- Spessore piattabanda superiore = 30 mm;
- Spessore piattabanda inferiore = 30 mm;
- Spessore anima = 20 mm.

Le travi longitudinali poggiano da un lato su spalle in calcetrizzo armato fondate su micropali, mentre dall'altro lato su mensole in c.a. realizzate sul muro della galleria.

Le travi principali sostengono, oltre alla barriera fonoassorbente, anche una soletta in c.a. di spessore 15 cm.

APPALTATORE: 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. SIST Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria									
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IBOU	1BEZZ	CL	BA0900001	C	5 di 35

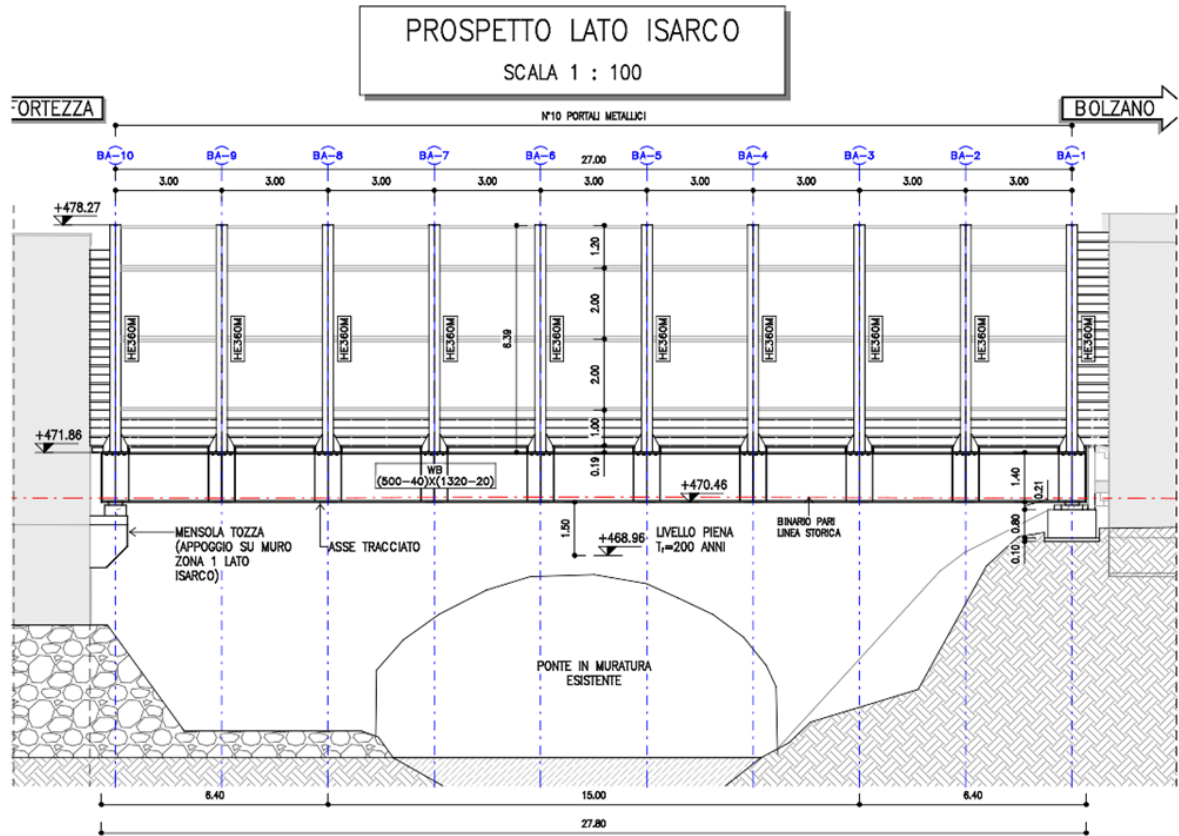



Figura 1-2: Prospetto Lato Isarco

APPALTATORE:										
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>								
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	IB0U				1BEZZ	CL	BA0900001	C	6 di 35
SIST		M Ingegneria				PROGETTO ESECUTIVO				
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione di calcolo - Fondazioni						IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001	C

SEZIONE A-A  
SCALA 1 : 100

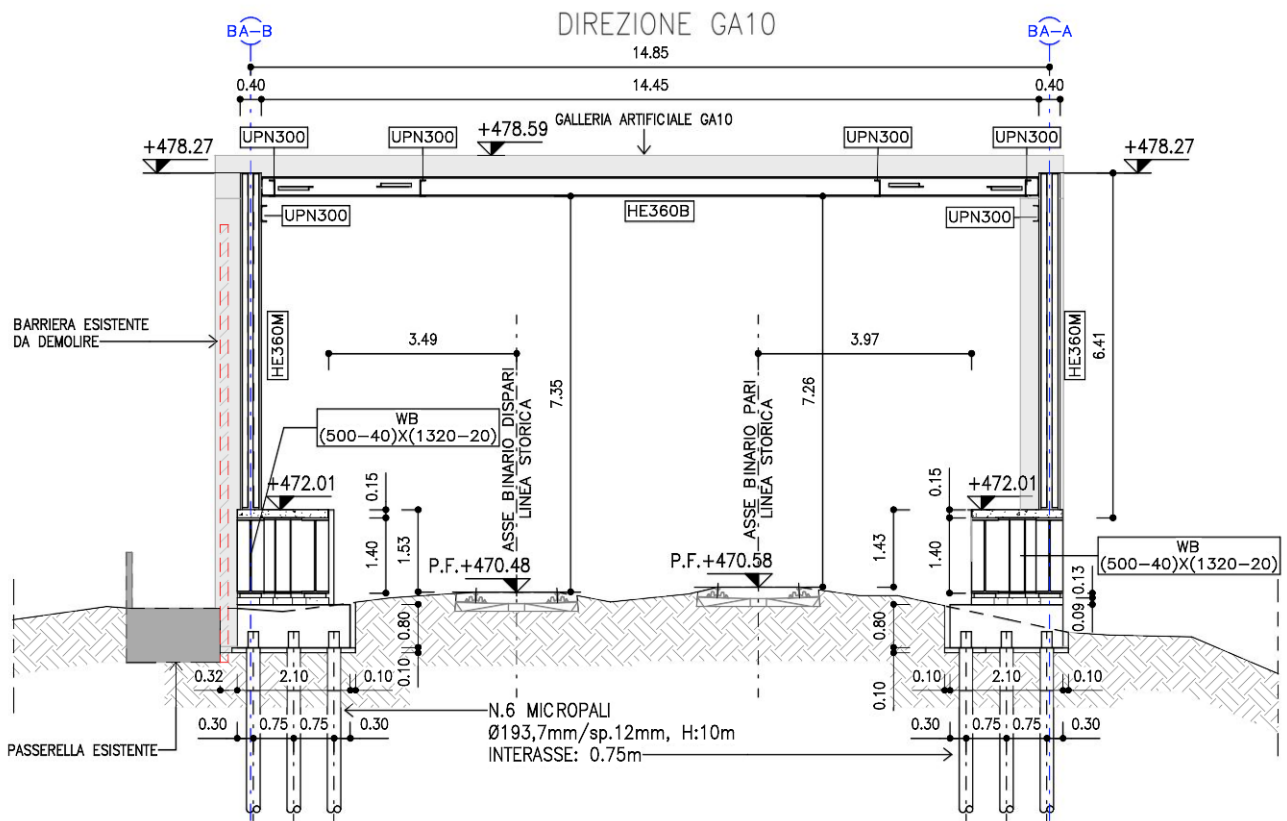



Figura 1-3: Sezione Trasversale A-A

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>						
11	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO BA0900001	REV. C	FOGLIO. 7 di 35
Relazione di calcolo - Fondazioni									

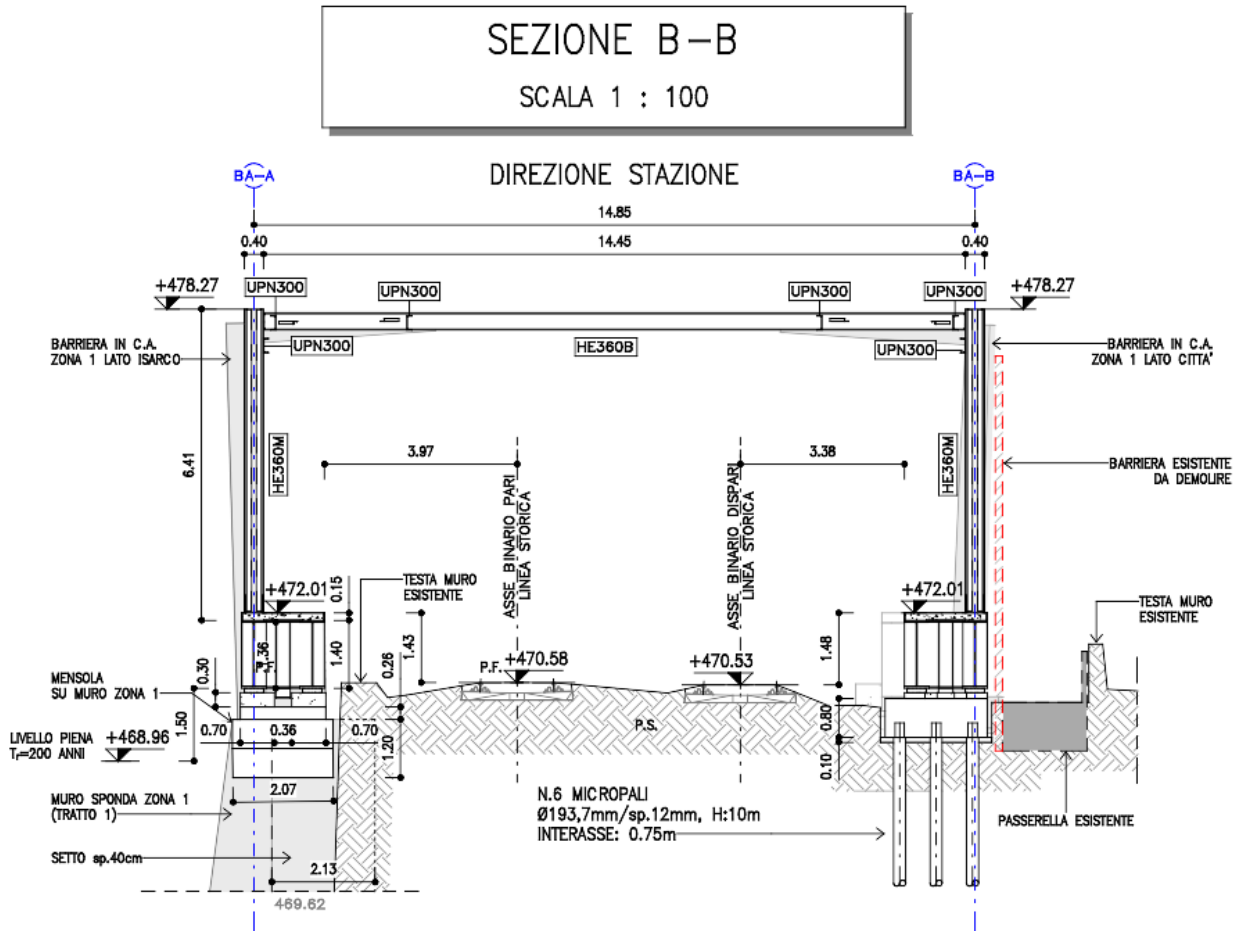



Figura 1-4: Sezione Trasversale B-B

APPALTATORE:		 <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>										
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>										
Mandatario:	Mandanti:						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN SIFEL					IBOU	1BEZZ	CL	BA0900001	C	8 di 35
11	-	OPERE	CIVILI									
Relazione di calcolo - Fondazioni												

Le fondazioni presentano una dimensione in pianta pari a 2.10 m per 1.35 m di altezza 0.80 m, poggianti su micropali aventi diametro di perforazione 250 mm e tubolare interno di diametro 193.7 mm e spessore 12 .

La lunghezza dei micropali è pari a 10 metri.

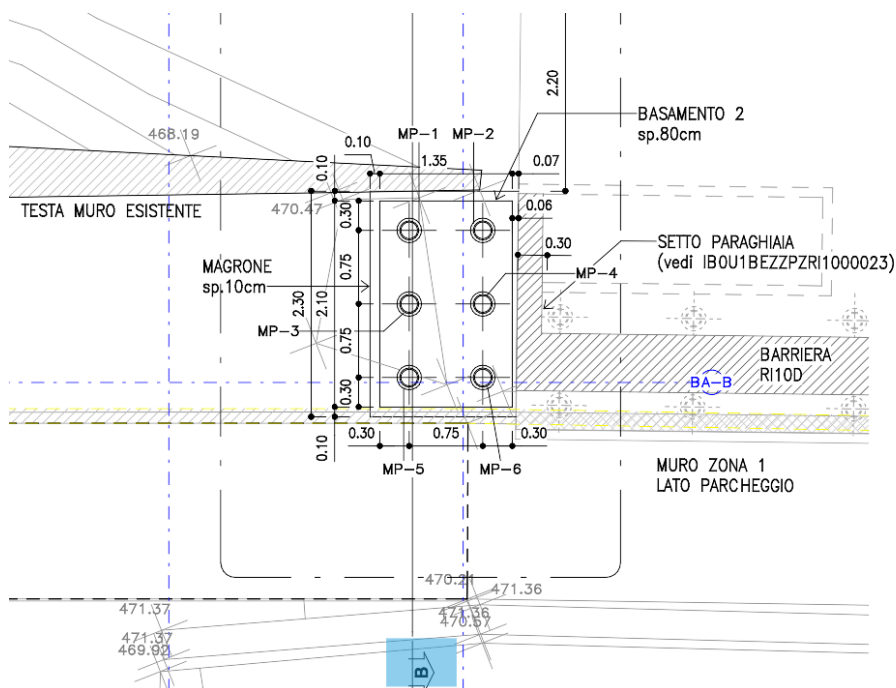


Figura 1-5: Pianta fondazioni

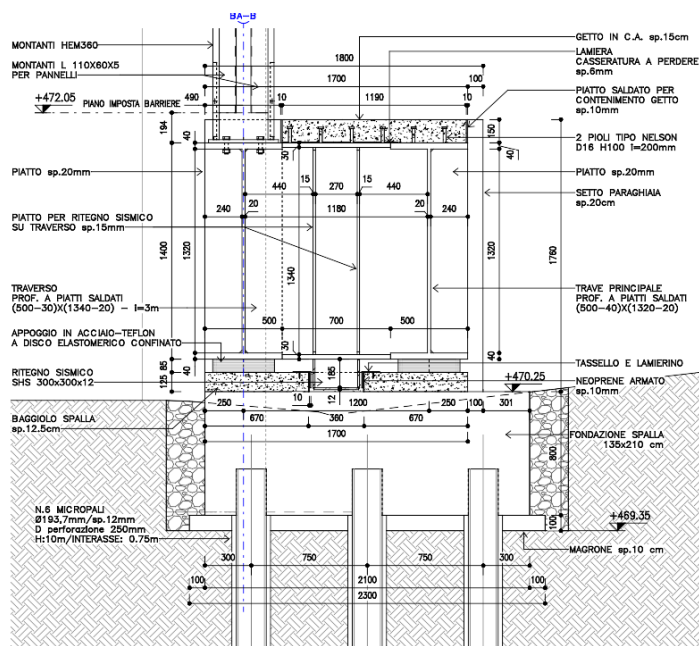



Figura 1-6: Sezione fondazioni



APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11</b> Relazione di calcolo - Fondazioni	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>
				CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>BA0900001</b>
				REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>9 di 35</b>

## 2. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

### 2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO


- [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- [2] 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";
- [3] UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- [4] 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".
- [5] 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"
- [6] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 02/02/2018, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- [7] UNI EN 1992-1-1:2005, Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

### 2.2 ELABORATI DI RIFERIMENTO

#### 2.2.1 Documenti referenziati

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

- [8] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44RGSN1000001A "Relazione tecnico descrittiva";
- [9] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P8SN1000001A "Planimetria generale di inquadramento ante operam - ( Pianta coperture)";
- [10] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P8SN1000002A "Planimetria generale di inquadramento post operam - ( Pianta coperture)";
- [11] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000003A "Pianta quota copertura 1/2";
- [12] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000004A "Pianta quota copertura 2/2";
- [13] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000005A "Prospetto Lato città";
- [14] U.O. Stazione e territorio, documento n.° IBL11BD44P9SN1000006A "Prospetto Lato Isarco";
- [15] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26BZBA0900001A "Adeguamento ba su ponte Rio Gardena – Pianta fondazioni";

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>								
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. SIST Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>								
<b>11</b> Relazione di calcolo - Fondazioni	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>BA0900001</b>	REV. <b>C</b>	FOGGIO. <b>10 di 35</b>

- [16] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26BZBA0900002A "Adeguamento ba su ponte Rio Gardena – Dettagli costruttivi";
- [17] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26CLBA0900001A "Adeguamento ba su ponte Rio Gardena – Relazione di calcolo";
- [18] U.O. Infrastrutture Nord, documento n.° IBL11BD26PZBA0900001A "Adeguamento ba su ponte Rio Gardena – Planimetria e sezioni";
- [19] U.O. Opere civili, documento n. IB0U1BEZZCLBA0900002C, "Relazione di calcolo - Opere in elevazione";
- [20] U.O. Opere civili, documento n. IB0U1BEZZPZBA0900001C, "Planimetria fondazioni e capenterie";
- [21] U.O. Opere civili, documento n. IB0U1BEZZBBBA0900001C, "Carpenterie metalliche";
- [22] U.O. Opere civili, documento n. IB0U1BEZZBZBA0900001C, "Dettagli costruttivi";
- [23] U.O. Geotecnica tratti all'aperto, documento n.° IB0U1AEZZGEGE0006002B "Opere parte A - Relazione geotecnica di caratterizzazione";
- [24] U.O. Geotecnica tratti all'aperto, documento n.° IB0U1BEZZGEGE0006003B "Opere parte B - Relazione geotecnica di caratterizzazione".

### 2.2.2 Documenti correlati


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

- [25] C. Viggiani (1999). Fondazioni, Hevelius Edizioni.
- [26] 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
- [27] 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	11 di 35

### 3. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Lo scopo principale del documento è quello di riportare i calcoli di dimensionamento e verifica di tutti gli elementi strutturali in acciaio e dei principali collegamenti che compongono la struttura. Successivamente saranno descritte le azioni di carico, le combinazioni ed i risultati utili per le verifiche strutturali.

#### 3.1 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:


- lunghezze  $\Rightarrow$  m, mm
- carichi  $\Rightarrow$  kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- azioni di calcolo  $\Rightarrow$  kN, kNm
- tensioni  $\Rightarrow$  N/mm<sup>2</sup>

#### 3.2 SINTESI DELLE ANALISI E DELLE VERIFICHE RIPORTATE

Nella presente relazione di calcolo, lo scavalco è stato implementato in un modello FE 3D.

I carichi sono stati applicati secondo le normative vigenti e sono brevemente riassunti di seguito:

- **Carichi Permanenti (G)**
  - G00 Peso Proprio: i carichi sono generati dalle caratteristiche geometriche della struttura e dal peso specifico del materiale;
  - G01 Carico permanente sbalzo;
  - G02 Carico permanente dei pannelli fonoassorbenti;
- **Carichi Accidentali (Q)**
  - Q00 Sovraccarico Accidentale sui marciapiedi;
  - Q01 Azione della Neve;
  - Q02 Azione del Vento;
  - Q03 Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli;
- **Azioni Sismiche (E)**
  - E00 Inerzia Sismica Orizzontale;
  - E01 Inerzia Sismica Verticale;
- **Azioni Termiche (T)**
  - T00 Azione termica sulla struttura.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	12 di 35

### 3.2.1 Caratteristiche dei materiali

L'acciaio costituente i micropali presenta le seguenti caratteristiche:

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

Tabella 1 : Acciaio per micropali

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

Tabella 2 : Calcestruzzo per micropali

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE MICROPALO	
Diametro di perforazione	250 mm
Diametro esterno	193.7 mm
Spessore	12 mm
Copriferro	28 mm
L	10 m
Tipologia iniezione	IGU

Tabella 3 : Caratteristiche geometriche micropali

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici elencati al par.2.

### 3.2.2 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.[24]). Per ulteriori dettagli si rimanda a tale relazione.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
<b>11</b>	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA0900001</b>	<b>C</b>	<b>13 di 35</b>

## CRITERI DI ANALISI E VERIFICA


### 3.3.1 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
<b>11</b>	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA0900001</b>	<b>C</b>	<b>14 di 35</b>

### 3.3.2 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 micropali IGU.

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 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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	15 di 35


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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	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 $\gamma_M$	(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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	16 di 35

### 3.4 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  $\xi$ .

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  $\xi$  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  $\xi$  in funzione del numero di verticali indagate (Tabella 5):

	Coefficiente Parziale ( $\gamma_R$ )	Pali trivellati		
		R1	R2	R3
Base	$\gamma_b$	1.0	1.7	1.35
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1.0	1.45	1.15
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1.0	1.6	1.25

Tabella 4 : Coefficienti parziali per pali trivellati



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	17 di 35

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

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

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ <sub>4</sub>	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).

### 3.5 CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI

Il carico limite orizzontale si ricava in accordo alla teoria di Broms (1984) (Rif. [25]) per micropali con rotazione in testa impedita.

Tale metodo si basa sui tre possibili meccanismi di rottura che il micropalo può subire (Rif. [25]):

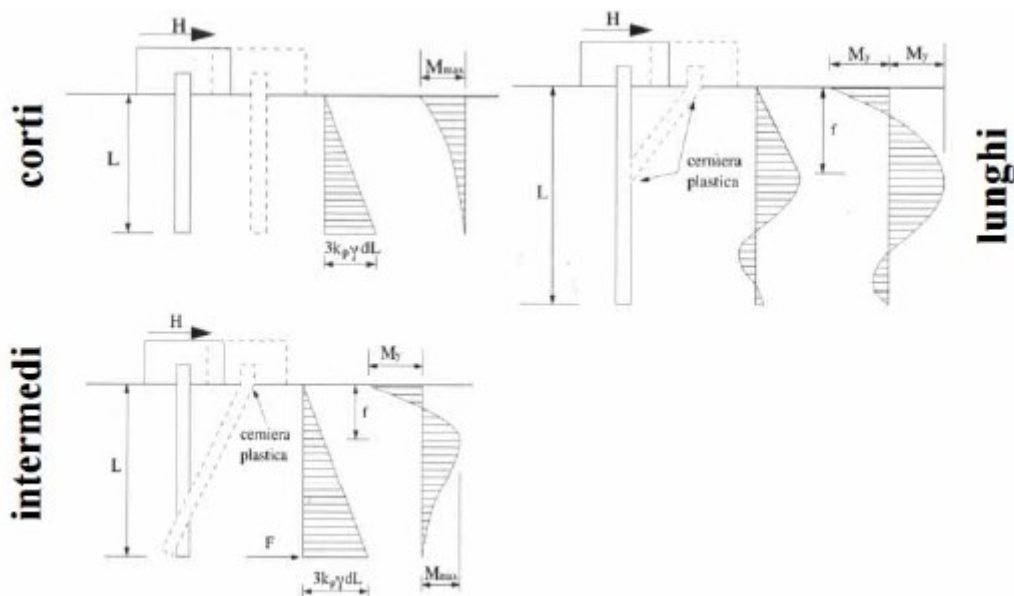



Figura 3-1: Meccanismi di rottura proposti da Broms

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	18 di 35

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;
- $\gamma$  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:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	19 di 35

#### 4. RIEPILOGO SOLLECITAZIONI ALLA BASE

Si riporta nel seguito le azioni globali riferite all'intradosso fondazioni e al baricentro dei micropali, con riferimento al seguente sistema di riferimento e nomenclatura delle sollecitazioni:

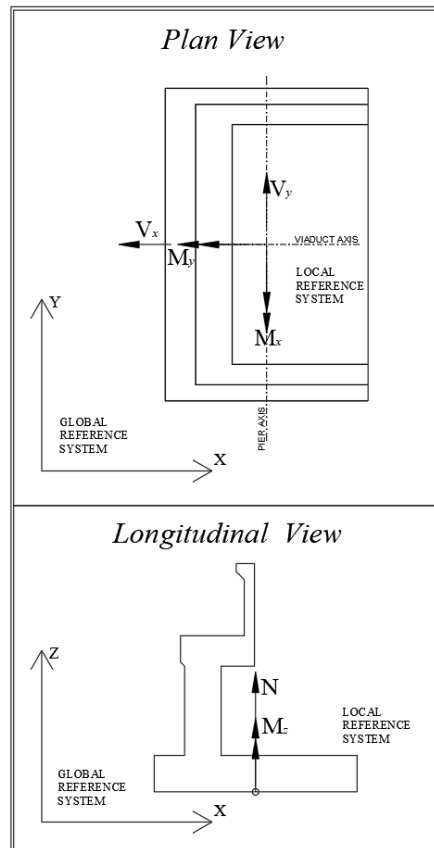



Figura 4-1: Sistema di riferimento delle azioni globali


Nelle tabelle seguenti si riassumono le sollecitazioni principali agenti alla base della pila, utili per le verifiche strutturali e geotecniche sui pali di fondazione.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandataria:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria								
<b>11</b>	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001	C	20 di 35

	V <sub>x</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	N [kN]	M <sub>z</sub> [kNm]
BA04: 1: G00 - Peso Proprio	0	0	-22	-217	-409	0
BA04: 2: G01 - Carico Permanente soletta	0	0	0	-18	-88	0
BA04: 3: G02a - Carico Pannelli Fonoassorbenti	0	0	-32	-232	-195	0
BA04: 4: G02b - Carico Pannelli Fonoassorbenti DX	0	0	-32	-157	-99	0
BA04: 5: Q00 - Sovraccarico Accidentale	0	0	-1	-21	-199	0
BA04: 6: Q01 - Carico Neve	0	0	-54	-257	-160	0
BA04: 7: Q02a - Carico Vento Y+	-1	-1	135	395	110	1
BA04: 8: Q02b - Carico Vento Y-	1	1	-83	-145	46	-1
BA04: 9: Q03a - Effetti Aerodinamici Convogli Y+	0	0	61	226	101	0
BA04: 10: Q03b - Effetti Aerodinamici Convogli Y-	0	0	-1	60	77	0
BA04: 11: T00 - DTu = +25°C	0	0	-3	-8	0	0
BA04: 12: T01 - DTu = -25°C	0	0	3	8	0	0
BA03: 1: G00 - Peso Proprio	0	0	22	217	-409	0
BA03: 2: G01 - Carico Permanente soletta	0	0	0	18	-88	0
BA03: 3: G02a - Carico Pannelli Fonoassorbenti	0	0	32	232	-195	0
BA03: 4: G02b - Carico Pannelli Fonoassorbenti DX	0	0	33	235	-196	0
BA03: 5: Q00 - Sovraccarico Accidentale	0	0	1	21	-199	0
BA03: 6: Q01 - Carico Neve	0	0	54	257	-160	0
BA03: 7: Q02a - Carico Vento Y+	1	1	83	145	46	1
BA03: 8: Q02b - Carico Vento Y-	-1	-1	-135	-395	110	-1
BA03: 9: Q03a - Effetti Aerodinamici Convogli Y+	0	0	1	-60	77	0
BA03: 10: Q03b - Effetti Aerodinamici Convogli Y-	0	0	-61	-226	101	0
BA03: 11: T00 - DTu = +25°C	0	0	3	8	0	0
BA03: 12: T01 - DTu = -25°C	0	0	-3	-8	0	0
BA02: 1: G00 - Peso Proprio	0	0	-22	-217	-409	0
BA02: 2: G01 - Carico Permanente soletta	0	0	0	-18	-88	0
BA02: 3: G02a - Carico Pannelli Fonoassorbenti	0	0	-32	-232	-195	0
BA02: 4: G02b - Carico Pannelli Fonoassorbenti DX	0	0	-33	-158	-100	0
BA02: 5: Q00 - Sovraccarico Accidentale	0	0	-1	-21	-199	0
BA02: 6: Q01 - Carico Neve	0	0	-54	-257	-160	0
BA02: 7: Q02a - Carico Vento Y+	0	0	135	393	109	0
BA02: 8: Q02b - Carico Vento Y-	0	0	-82	-143	47	0
BA02: 9: Q03a - Effetti Aerodinamici Convogli Y+	0	0	60	225	100	0
BA02: 10: Q03b - Effetti Aerodinamici Convogli Y-	0	0	-1	61	78	0
BA02: 11: T00 - DTu = +25°C	0	0	-3	-8	0	0
BA02: 12: T01 - DTu = -25°C	0	0	3	8	0	0
BA01: 1: G00 - Peso Proprio	0	0	22	217	-409	0
BA01: 2: G01 - Carico Permanente soletta	0	0	0	18	-88	0
BA01: 3: G02a - Carico Pannelli Fonoassorbenti	0	0	32	232	-195	0
BA01: 4: G02b - Carico Pannelli Fonoassorbenti DX	0	0	32	234	-195	0
BA01: 5: Q00 - Sovraccarico Accidentale	0	0	1	21	-199	0
BA01: 6: Q01 - Carico Neve	0	0	54	257	-160	0
BA01: 7: Q02a - Carico Vento Y+	0	0	82	143	47	0
BA01: 8: Q02b - Carico Vento Y-	0	0	-135	-393	109	0
BA01: 9: Q03a - Effetti Aerodinamici Convogli Y+	0	0	1	-61	78	0
BA01: 10: Q03b - Effetti Aerodinamici Convogli Y-	0	0	-60	-225	100	0
BA01: 11: T00 - DTu = +25°C	0	0	3	8	0	0
BA01: 12: T01 - DTu = -25°C	0	0	-3	-8	0	0

Tabella 6: Azioni elementari alla base

Le combinazioni di verifica in condizioni SLU e SLV sono riportate nella seguente tabella:

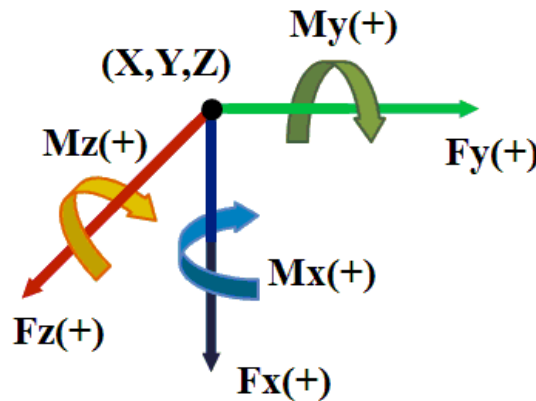
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandataria:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL						
<b>11</b>	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001	C	21 di 35


	V <sub>x</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	N [kN]	M <sub>z</sub> [kNm]
BA04: 15: SLU_01 [Combination 3]	0	0	-78	-697	-1263	0
BA04: 124: SLU_110 [Combination 112]	-3	-3	136	26	-705	2
BA04: 542: SLV-X [Combination 530]	-170	-170	-60	-441	-658	-136
BA04: 543: SLV-Y [Combination 531]	12	12	57	-171	-618	9
BA03: 15: SLU_01 [Combination 3]	0	0	78	697	-1263	0
BA03: 124: SLU_110 [Combination 112]	3	3	263	1093	-974	2
BA03: 542: SLV-X [Combination 530]	-185	-185	61	438	-659	148
BA03: 543: SLV-Y [Combination 531]	-14	-14	174	775	-781	11
BA02: 15: SLU_01 [Combination 3]	0	0	-78	-697	-1263	0
BA02: 124: SLU_110 [Combination 112]	0	0	134	20	-708	0
BA02: 542: SLV-X [Combination 530]	0	0	-59	-509	-739	0
BA02: 543: SLV-Y [Combination 531]	0	0	56	-176	-619	0
BA01: 15: SLU_01 [Combination 3]	0	0	78	697	-1263	0
BA01: 124: SLU_110 [Combination 112]	0	0	261	1088	-971	0
BA01: 542: SLV-X [Combination 530]	0	0	59	509	-741	0
BA01: 543: SLV-Y [Combination 531]	0	0	172	770	-780	0

Tabella 7: Reazioni (combinazioni) alla base

Essendo la pila 3 quella maggiormente sollecitata, le verifiche in fondazione faranno riferimento a quest'ultima. Nel programma Group, sono state inserite tutte le combinazioni di calcolo e verificato l'involuppo delle sollecitazioni nelle combinazioni SLU e SLV.

Il sistema di coordinate considerato all'interno del software Group è il seguente:



APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
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	BA0900001	C	22 di 35

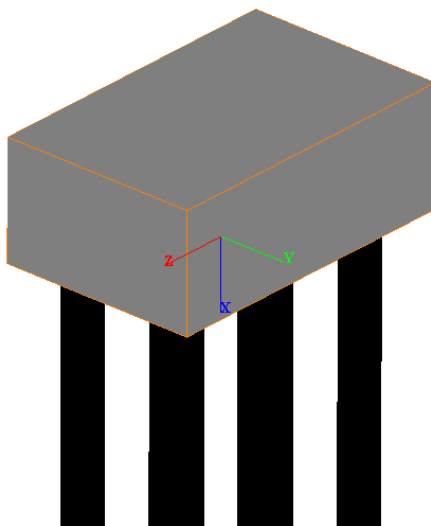



Figura 4-2: Sistema di riferimento delle azioni utilizzato in Group

Per tale motivo si considera il seguente sistema di combinazioni da utilizzare all'interno del software di calcolo geotecnico:

Fy [kN]	Mz [kNm]	Fz [kN]	My [kNm]	Fx [kN]	Mx [kNm]
0	0	78	697	1263	0
3	-3	-136	-26	705	-2
170	-170	60	441	658	136
-12	12	-57	171	618	-9
0	0	-78	-697	1263	0
-3	3	-263	-1093	974	-2
185	-185	-61	-438	659	-148
14	-14	-174	-775	781	-11
0	0	78	697	1263	0
0	0	-134	-20	708	0
0	0	59	509	739	0
0	0	-56	176	619	0
0	0	-78	-697	1263	0
0	0	-261	-1088	971	0
0	0	-59	-509	741	0
0	0	-172	-770	780	0

Tabella 8: Reazioni alla base in Group

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>						
11	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO BA0900001	REV. C	FOGLIO. 23 di 35
Relazione di calcolo - Fondazioni									

#### 4.1 RISULTATI DELLE ANALISI

La fondazione è costituita da una soletta di profondità 1.35 m x 2.10 m e un'altezza di 0.80m poggiante su una maglia di micropali lunghi 10 m, con diametro di perforazione 250 mm e un tubolare di 193.7 mm per 12 mm in acciaio S275. Tale soluzione permette di avere pali disposti con un interasse di 0.75m.

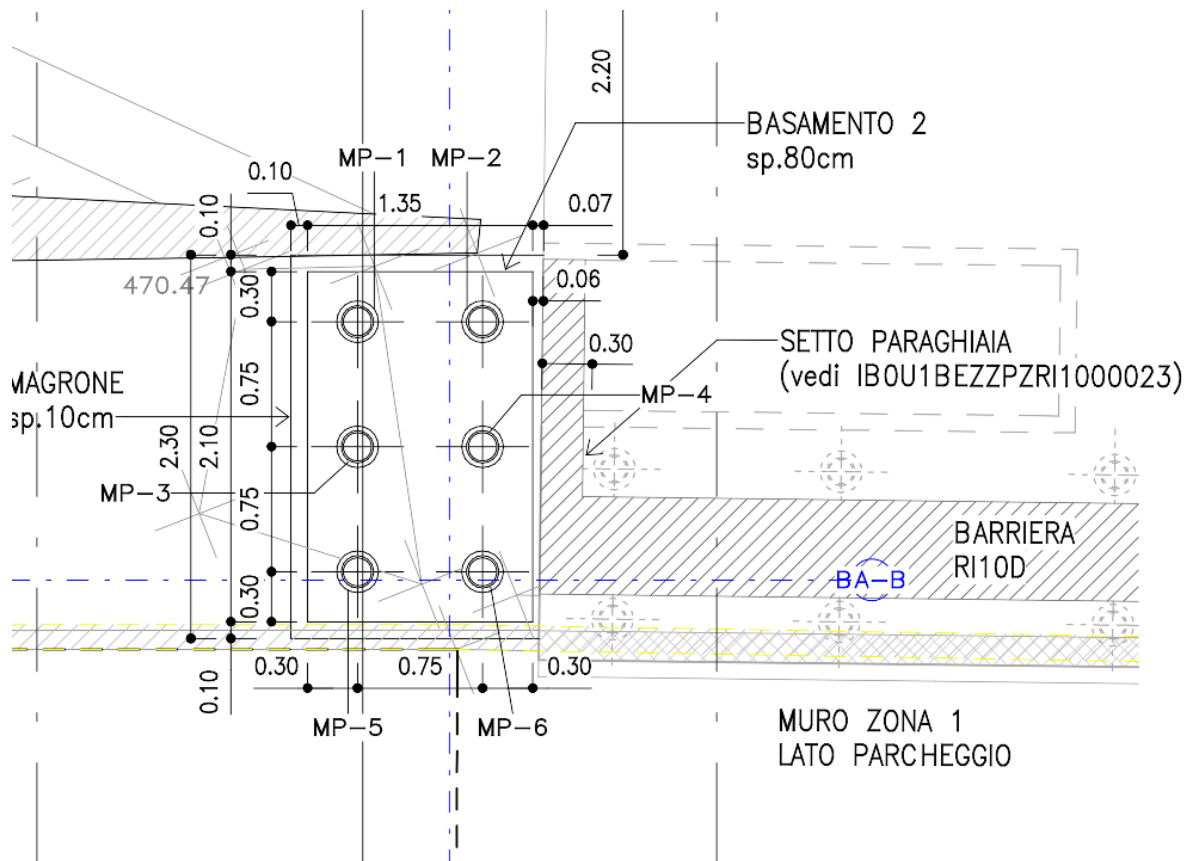



Figura 4.1-1 : Vista in pianta della fondazione

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandataria:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST								
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001	C	24 di 35

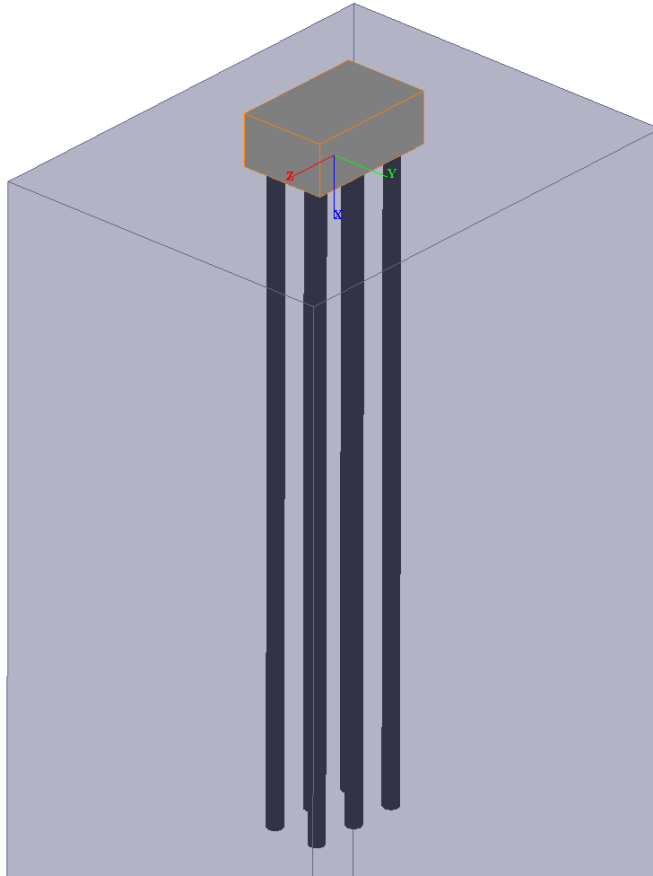


Figura 4.1-2 : Vista della palificata sul software Group

Dall'involuppo di ciascuna sollecitazione su ciascun palo, si ricavano le sollecitazioni di progetto sulla base delle quali effettuare le verifiche:

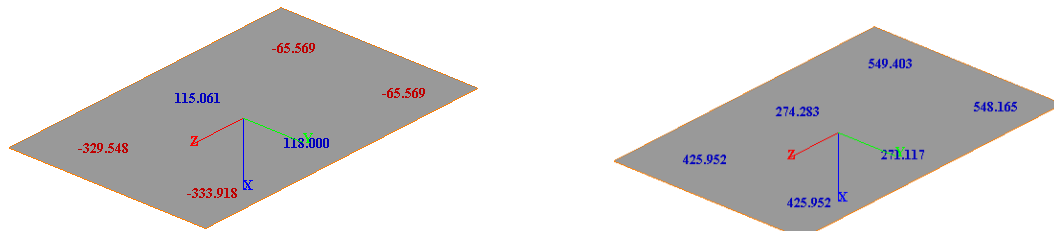



Figura 4.1-3 : Involuppo dei minimi (sx) e massimi (dx) sforzi assiali su ciascun palo per le combinazioni SLU



APPALTATORE:		 <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:							REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST	M Ingegneria						C	25 di 35
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IBOU	1BEZZ	CL	BA0900001	C	25 di 35

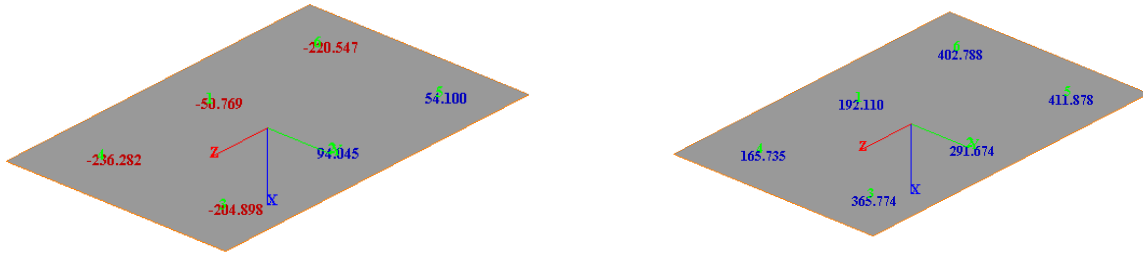


Figura 4.1-4 : Involuppo dei minimi (sx) e massimi (dx) sforzi assiali su ciascun palo per le combinazioni SLV

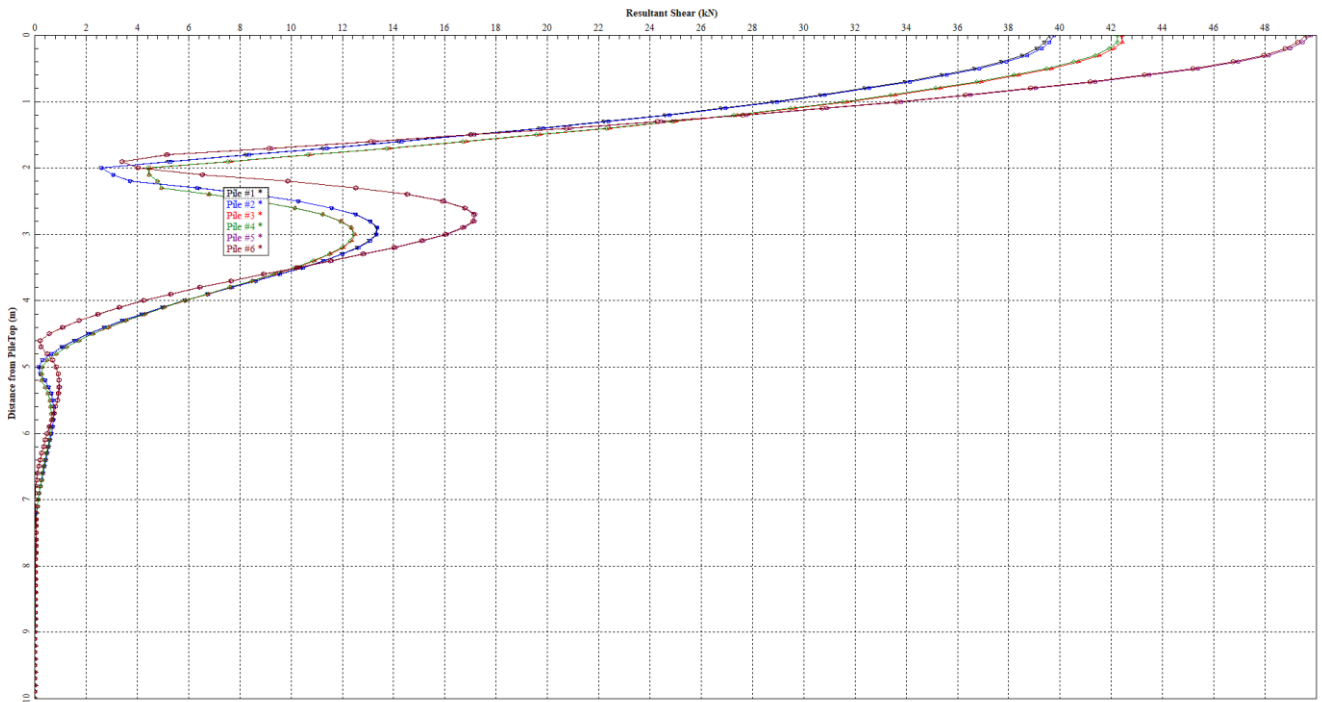



Figura 4.1-5 : Involuppo dei massimi sforzi di taglio per ciascun palo COMBINAZIONE SLU

APPALTATORE:									
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. SIST Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
11	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001	C	26 di 35

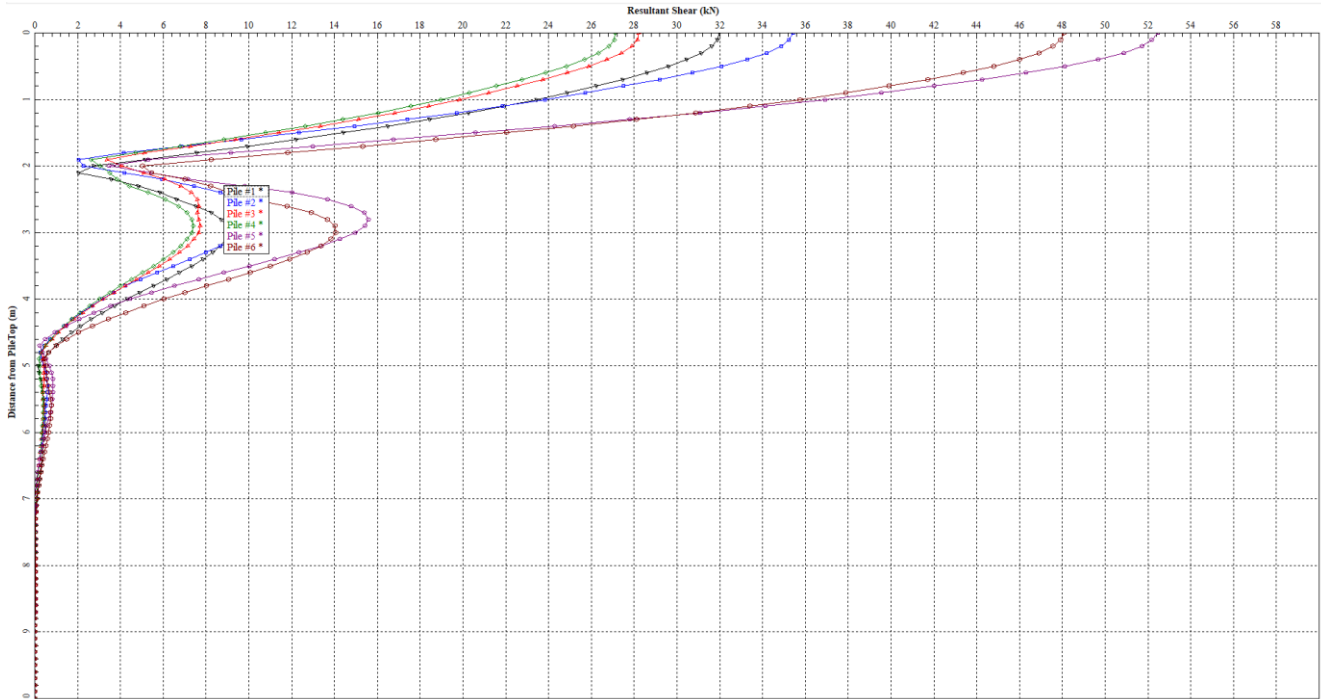


Figura 4.1-6 : Involuppo dei massimi sforzi di taglio per ciascun palo COMBINAZIONE SLV

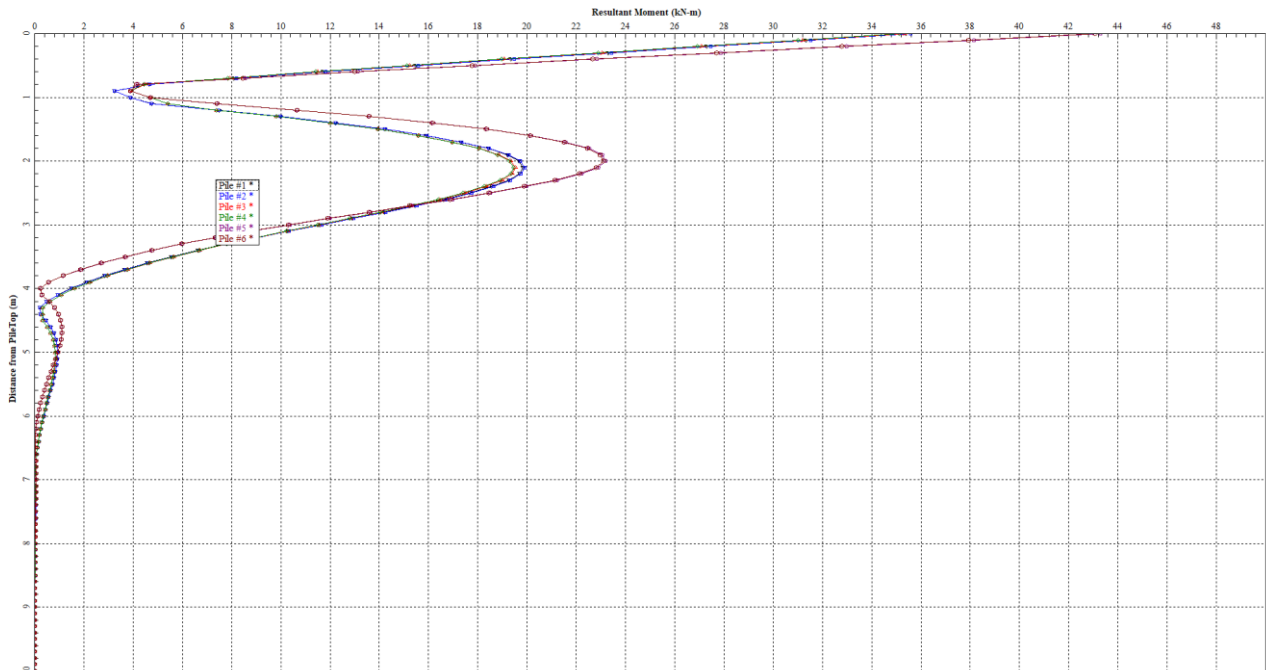



Figura 4.1-7 : Involuppo dei massimi sforzi di momento flettente per ciascun palo combinazione SLU

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria GDP GEOMIN SIFEL	IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001	C	27 di 35
11	-	OPERE	CIVILI				
Relazione di calcolo - Fondazioni							

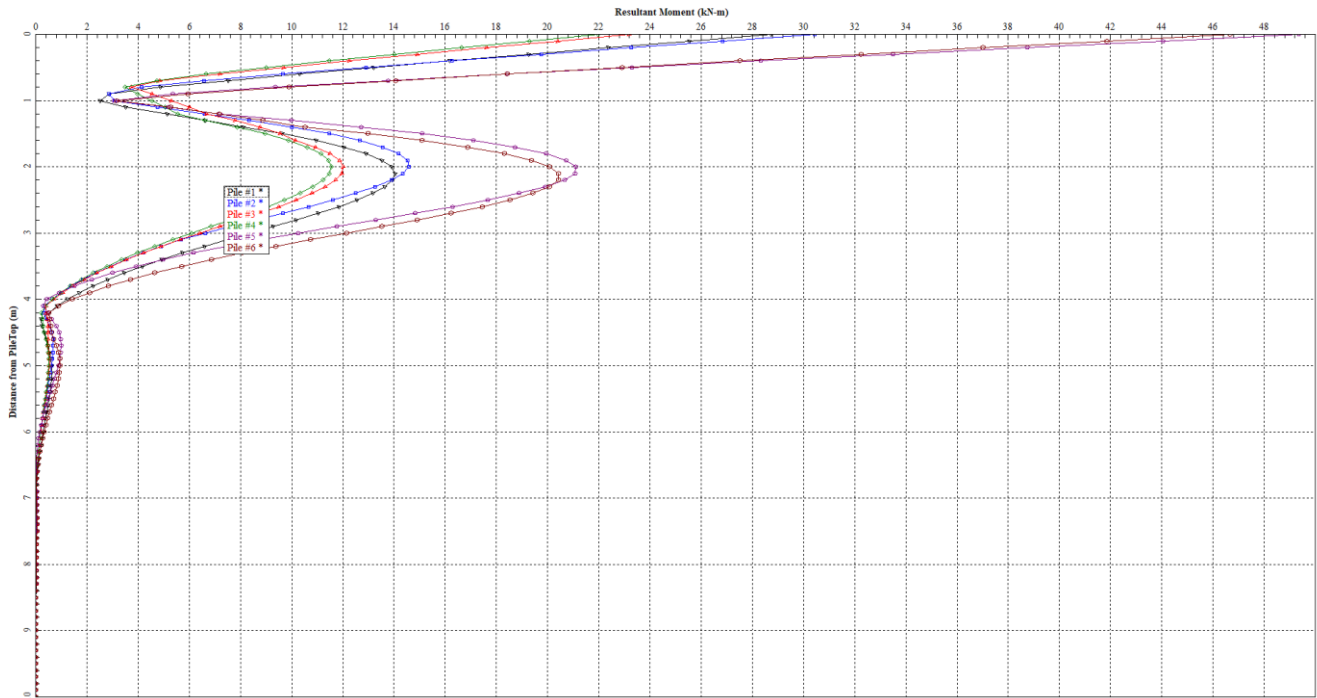


Figura 4.1-8 : Involuppo dei massimi sforzi di momento flettente per ciascun palo combinazione SLV


In definitiva, gli sforzi massimi su cui si effettueranno le verifiche, saranno:

SLU			
n palo	N (kN)	T(kN)	M(kN*m)
1	275	40	36
2	272	40	36
3	426	43	36
4	426	43	36
5	549	50	44
6	550	50	44

Tabella 9: Sollecitazioni su ciascun palo INVILUPPI SLU

SLV			
n palo	N (kN)	T(kN)	M(kN*m)
1	156	32	29
2	255	27	30
3	398	28	23
4	325	27	22
5	328	53	48
6	298	48	48

Tabella 10: Sollecitazioni su ciascun palo INVILUPPI SLV

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
<b>11</b>	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA0900001</b>	<b>C</b>	<b>28 di 35</b>

Sulla base di queste sollecitazioni ricavate da Group, saranno effettuate le verifiche GEO e STR. In particolare lo sforzo di trazione massimo sarà utilizzato per le verifiche a carico limite verticale di trazione, lo sforzo di compressione massimo per le verifiche a carico limite di compressione. Le verifiche STR invece verranno effettuate sulla base dello momento massimo e del taglio massimo.

#### 4.1.1 Verifiche GEO per carichi verticali di compressione

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

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

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

In accordo con il manuale di progettazione Rif. [26], il carico limite verticale del micropalo lungo 10 metri sarà calcolato come:

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

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[25]): il carico limite alla punta P può essere stimato pari al 10-15% del carico limite laterale S.

$$P = \pi d_s L_s \alpha S$$

Si assume  $d_s = \alpha d$ , dove d è il diametro di perforazione e  $\alpha$  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. [23] e Rif. [24]), si è deciso di utilizzare un valore di  $N_{spt} = 40$  per i primi 10 m. Per ulteriori dettagli si rimanda a tale relazione.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	BA0900001	C	29 di 35
11	-	OPERE	CIVILI				
Relazione di calcolo - Fondazioni							

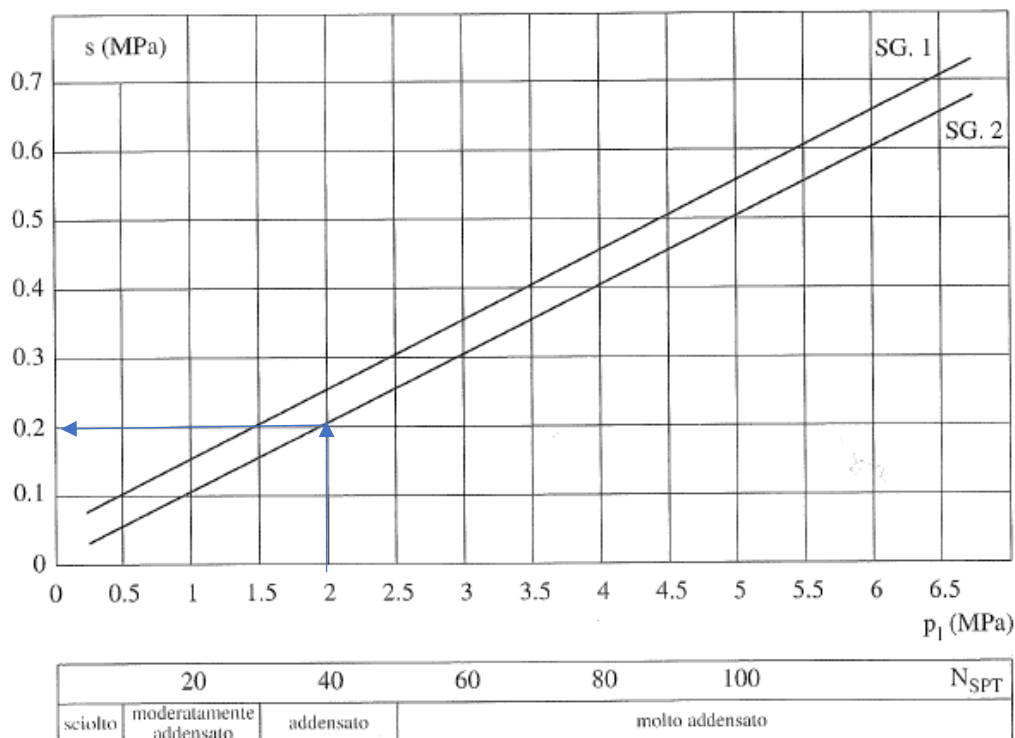


Figura 4.1-9 : Abaco per il calcolo di s in sabbie e ghiaie

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:

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

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  $\xi$  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, si è considerato un numero di verticali pari a 3 (sondaggi S2/S3/S4), per cui  $\xi$  sarà pari a 1,60.

La capacità portante di calcolo sarà:

$$Q_{s,d} = Q_{s,k} / (1.15 * 1.6) = 2166 \text{ kN} / 1,84 = 1178 \text{ kN}$$

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

COMBINAZIONE	Qlim(+) [kN]	Nmax(+) [kN]	FS
SLU	1178	550	2.14
SLV	1178	398	2.96


APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:								
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP	GEOMIN	SIFEL					
11	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione di calcolo - Fondazioni				IB0U	1BEZZ	CL	BA0900001	C	30 di 35

Tabella 11: 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.

#### 4.1.2 Verifiche GEO per carichi verticali di trazione

Il carico limite a trazione invece sarà, utilizzando sempre la teoria di Bustamante & Doix (Rif.[25]):

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


Tenendo conto del fattore di sicurezza  $\gamma_R = 1.25$  e del coefficiente di correlazione  $\xi$ , il carico limite a trazione sarà 942 kN. A favore di sicurezza non si tiene in conto del peso del palo.

I risultati ottenuti dalle verifiche sono riassunti nella seguente tabella.

COMBINAZIONE	Q <sub>lim</sub> (-) [kN]	N <sub>max</sub> (-) [kN]	FS
SLU	942	272	3.46
SLV	942	156	6.04

Tabella 12: Verifiche a carico limite di trazione

Tutte le verifiche risultano quindi soddisfatte.

APPALTATORE:		 <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>							
Mandatario:	Mandanti:							REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A. SIST	PINI ITALIA M Ingegneria	GDP GEOMIN	SIFEL					C	31 di 35
11	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO		
Relazione di calcolo - Fondazioni				IBOU	1BEZZ	CL	BA0900001		

#### 4.1.3 Verifiche GEO per carichi orizzontali

Le verifiche per carico limite orizzontale vengono effettuate in accordo la teoria di Broms (Rif.[25]) per pali incastrati in testa in terreni incoerenti.

Tale teoria si basa sullo studio di tre possibili meccanismi di rottura, rappresentati nella figura seguente:

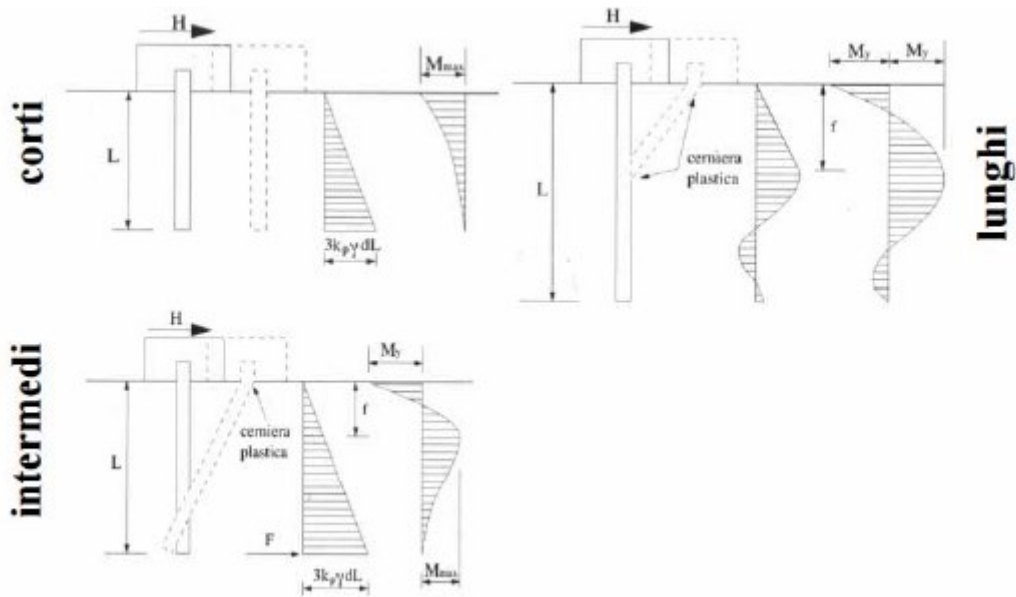



Figura 4.1-10: Meccanismi di rottura proposti da Broms

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.

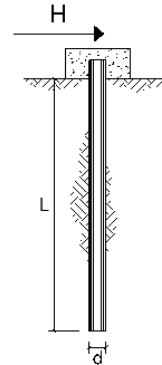
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>						
11	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>BA0900001</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>32 di 35</b>
Relazione di calcolo - Fondazioni									

**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 $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_T$
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	1.30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	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: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y^2}{k_p \gamma d^4}}$$

**DATI DI INPUT:**

Lunghezza del palo	L =	10.00	(m)	
Diametro del palo	d =	0.25	(m)	
Momento di plasticizzazione della sezione	$M_y$ =	114.07	(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 <sup>3</sup> )	
Carico Assiale Permanente (G):	G =	50	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)	

Palo corto:

$H1_{med} = 1508.55$  (kN)       $H1_{min} = 1508.55$  (kN)

Palo intermedio:

$H2_{med} = 514.26$  (kN)       $H2_{min} = 514.26$  (kN)

Palo lungo:

$H3_{med} = 120.93$  (kN)       $H3_{min} = 120.93$  (kN)

$H_{med} = 120.93$  (kN)      palo lungo       $H_{min} = 120.93$  (kN)      palo lungo

$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 71.13$  (kN)


$H_d = H_k / \gamma_T = 54.72$  (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 50.00$  (kN)

$FS = H_d / F_d = 1.09$

Figura 4.1-11 : Verifica a carico limite orizzontale per il palo più sollecitato (SLU)



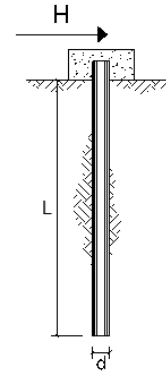
APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>							
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>						
11	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO BA0900001	REV. C	FOGLIO. 33 di 35

**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 $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\psi$	$\gamma_T$	
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	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	$M_y =$	114.07	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\varphi'_{med} =$	37.00	(°)	$\varphi'_{min} =$	37.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\varphi'_{med,d} =$	37.00	(°)	$\varphi'_{min,d} =$	37.00 (°)
Coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1 + \sin\varphi)/(1 - \sin\varphi)$ )	$k_{p,med} =$	4.02	(-)	$k_{p,min} =$	4.02 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$ )	$\gamma =$	10.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
Carico Assiale Permanente (G):	G =	53	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)		

*Palo corto:*

$H1_{med} = 1508.55$  (kN)  $H1_{min} = 1508.55$  (kN)

*Palo intermedio:*

$H2_{med} = 514.26$  (kN)  $H2_{min} = 514.26$  (kN)

*Palo lungo:*

$H3_{med} = 120.93$  (kN)  $H3_{min} = 120.93$  (kN)

$H_{med} = 120.93$  (kN) palo lungo  $H_{min} = 120.93$  (kN) palo lungo


$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 71.13$  (kN)

$H_d = H_k / \gamma_T = 54.72$  (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 53.00$  (kN)

$FS = H_d / F_d = 1.03$

Figura 4.1-12 : Verifica a carico limite orizzontale in condizioni SLU

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>								
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. SIST Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>								
11 Relazione di calcolo - Fondazioni	-	OPERE	CIVILI	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO BA0900001	REV. C	FOGLIO. 34 di 35

#### 4.1.4 Verifiche STR SLU -SLV

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	$M_{Ed}$	$T_{Ed}$	$A_{tubo}$	$A_v$	$W_{pl}$	$\sigma_{Ed}$	$\tau_{Ed}$	$\sigma_{id}$	FS
[-]	[kNm]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	36.00	40.00	6850	4361	396755	90.74	11.65	91.20	2.86
2	36.00	40.00				90.74	11.65	91.20	2.86
3	36.00	43.00				90.74	12.52	91.27	2.86
4	36.00	43.00				90.74	12.52	91.27	2.86
5	44.00	50.00				110.90	14.56	111.49	2.34
6	44.00	50.00				110.90	14.56	111.49	2.34

Tabella 13: Verifica STR per il palo più sollecitato (SLU)

Palo	$M_{Ed}$	$T_{Ed}$	$A_{tubo}$	$A_v$	$W_{pl}$	$\sigma_{Ed}$	$\tau_{Ed}$	$\sigma_{id}$	FS
[-]	[kNm]	[kN]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]
1	29.00	32.00	6850	4361	396755	73.09	9.32	73.46	3.55
2	30.00	27.00				75.61	7.86	75.87	3.45
3	23.00	28.00				57.97	8.15	58.32	4.47
4	22.00	27.00				55.45	7.86	55.79	4.68
5	48.00	53.00				120.98	15.43	121.59	2.15
6	48.00	48.00				120.98	13.97	121.48	2.15

Tabella 14: Verifica STR per il palo più sollecitato (SLU)

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>								
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. SIST Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>								
<b>11</b> Relazione di calcolo - Fondazioni	-	<b>OPERE</b>	<b>CIVILI</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>BA0900001</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>35 di 35</b>

## 5. CONCLUSIONI

La presente relazione tratta la progettazione delle opere di fondazione delle pile dello scavalco di Rio Gardena. 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.