

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

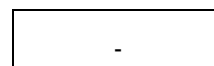
RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO

SL01 – Sottovia ciclopedonale di via Roma

Relazione di calcolo paratie di micropali

SCALA:



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

N B 1 R 0 2 D 2 6 C L S L 0 1 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Serrau	Marzo 2020	A. Maran 	Marzo 2020	M. Berlingeri 	Marzo 2020	A. Perego Marzo 2020

File: NB1R02D26CLSL0100003A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	6
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E DOCUMENTI DI PROGETTO.....	8
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
2.2	DOCUMENTI DI PROGETTO.....	10
3	PARAMETRI GEOTECNICI.....	11
3.1	TERRENO DI FONDAZIONE	11
3.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA	11
4	MATERIALI.....	13
4.1	CALCESTRUZZO.....	13
4.2	ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA	13
4.3	ACCIAIO PER ARMATURA MICROPALI E PUNTELLI.....	14
5	SOFTWARE DI CALCOLO	15
6	ANALISI DEI CARICHI.....	17
6.1	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (G_1).....	17
6.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI (G_2).....	17
6.3	SPINTA DELLE TERRE E DELL'ACQUA.....	17
6.4	CARICHI ACCIDENTALI (Q_{ACC})	18

6.5	URTO SUI PARAPETTI (Q _{ECC})	18
6.6	AZIONI SISMICHE	18
7	COMBINAZIONI DI CARICO	21
8	MODELLO DI CALCOLO	23
8.1	SCAVO PER IL VANO DI POMPAGGIO	28
9	SINTESI RISULTATI	29
9.1	PARATIA TIPO 1	29
1.1.	PARATIA TIPO 2	33
1.2.	PARATIA TIPO 3	37
1.3.	PARATIA TIPO 4	42
10	VERIFICHE	45
10.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU DEI MICROPALI	46
9.1.1.	<i>Tubolari $\phi 139.7 \times 12$</i>	47
9.1.2.	<i>Tubolari $\phi 168.2 \times 12$</i>	47
10.2	VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITÀ DEI PUNTELLI	48
10.3	VERIFICA DELLA TRAVE DI CORONAMENTO	49
10.4	VERIFICA DEI MURI DI PARAPETTO	51
10.5	VERIFICHE GEOTECNICHE IN FASE DI ESERCIZIO (SLE)	53
11	CARICHI TRASMESSI AL MURO DI RIFODERA	55
12	INCIDENZE DELLE ARMATURE	58

**PROGETTO DEFINITIVO****RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**
APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA
LINEA DA CURNO A BERGAMO
SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA**RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100003	A	4 di 58

ALLEGATO 1 – TABULATI DI CALCOLO PARATIA TIPO 1

ALLEGATO 2 – TABULATI DI CALCOLO PARATIA TIPO 2

ALLEGATO 3 – TABULATI DI CALCOLO PARATIA TIPO 3

ALLEGATO 4 – TABULATI DI CALCOLO PARATIA TIPO 4

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le paratie per il sostegno dello scavo e dei muri di rampa del sottopasso ciclopedonale SL01, posto in corrispondenza della pk 5+183 della tratta ferroviaria Bergamo-Ponte San Pietro. L'opera si inserisce nel lotto 1 dei lavori di raddoppio della ferrovia Ponte San Pietro – Bergamo – Montello, per la precisione nel comune di Curno (BG) lungo via Roma.

Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali e le verifiche strutturali seguiti per il dimensionamento e le verifiche di resistenza delle paratie di micropali, che sostengono gli scavi per la formazione delle rampe di accesso e del sottopasso.

L'intenzione dell'opera è quella di creare un sottopasso ciclopedonale, di larghezza netta pari a 3m, che bypassi la ferrovia, e di ridurre di circa la metà la larghezza carrabile di via Roma, che rimarrà a livello di piano campagna, garantendo gli accessi alle proprietà private esistenti.

In fase esecutiva le paratie avranno la funzione di sostenere lo scavo, mentre in fase di esercizio si prevede la realizzazione di un solettone di fondo della rampa e di due muri di rifodera dei micropali, il cui calcolo è riportato nel dettaglio nella relazione NB1R01D26CLSL0100002A.

Nel seguito si presenta la sezione caratteristica delle rampe e del sottopasso.

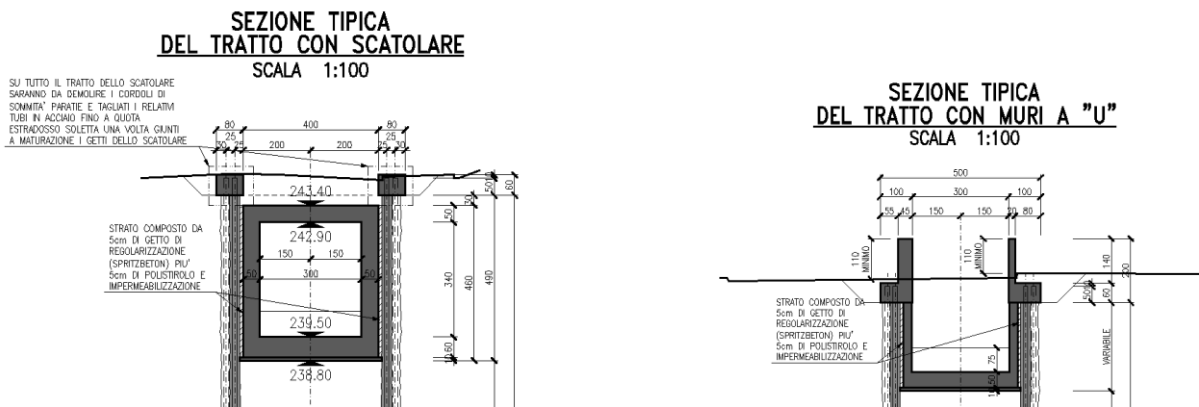


Figura 1: Sezioni trasversali tipologiche

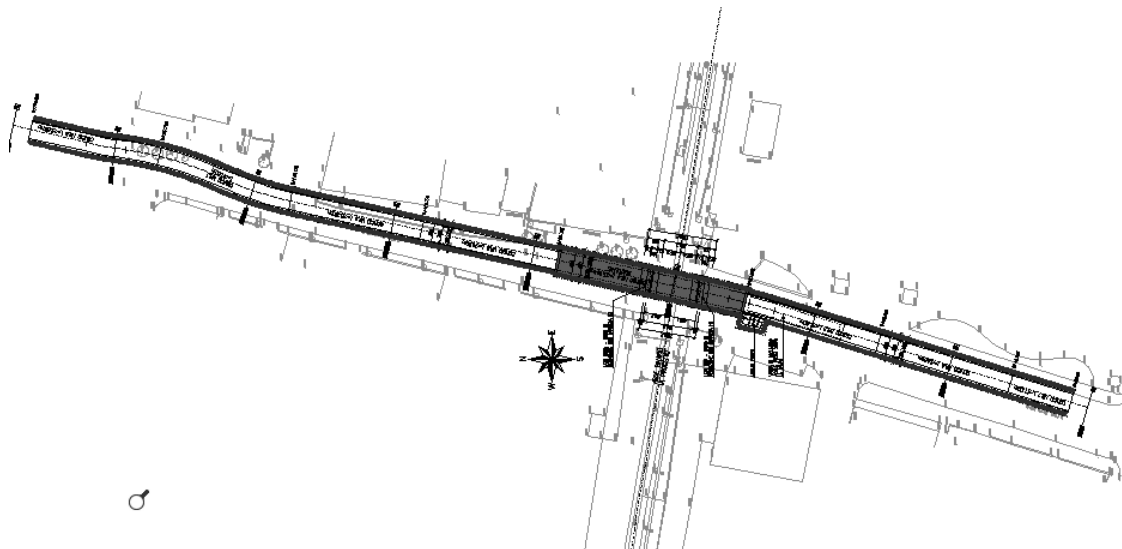


Figura 2: planimetria generale del sottopasso SL01

1.1 Descrizione dell'opera

Il sottopasso in questione è costituito da uno scatolare gettato in opera, in regime di interruzione del traffico ferroviario, tra due paratie di micropali. Le rampe di avvicinamento allo scatolare, sono costituite da un solettone di fondo di spessore variabile e dei muri di rifodera di spessore 25cm anch'essi gettati tra due paratie di micropali.

Le rampe hanno sviluppo longitudinale di ca. 59m lato sud e ca.94mlato nord, mentre lo scatolare ha una lunghezza di 33.5m.

La larghezza netta del sottopasso e delle rampe è di 3m mentre l'altezza interna dello scatolare è di 3.5m, con piedritti e soletta superiore di spessore 50cm e soletta inferiore di spessore 60cm.


Sono state modellate quattro tipologie di paratia in cui varia la profondità di scavo, lo spessore e la lunghezza dei micropali e la presenza o meno di puntelli provvisori. La tabella seguente ne riassume le caratteristiche.

	Scavo	Pali				Puntelli
		H (m)	L (m)	Ø (cm)	Armatura	
TIPO 1	2.8	15	30	Ø139.7x12	25x25	no
TIPO 2	4	12	30	Ø139.7x12	25x25	HEB200/4m
TIPO 3	5	15	30	Ø139.7x12	25x25	HEB200/4m

**PROGETTO DEFINITIVO****RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**
APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA
LINEA DA CURNO A BERGAMO
SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA**RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100003	A	7 di 58

TIPO 4	7.25	18	30	Ø168.3x12	25x25	HEB200/4m
---------------	------	----	----	-----------	-------	-----------

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100003	REV. A

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E DOCUMENTI DI PROGETTO

2.1 Normativa di riferimento

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- D.M. del 17.01.2018 “*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*” (NTC 2018)
- Circolare del 21.01.2019 contenente le istruzioni per le l’applicazione delle “*Nuove norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. del 17.01.2018
- *Manuale di progettazione RFI DTC SI PS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 2;*
- *Manuale di progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 3;*
- EN 1991-2 “*Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti*”.
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici*”.
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi*”.
- EN 1997-1 “*Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali*”.
- Regolamento (UE) n.1299/2014 del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.
- Ciria C760 – “*Guidance on embedded retaining wall design*”
- UNI EN 206:2016 “*Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità*”
- DGR n.IX/2616 di Regione Lombardia del 30/11/2011: “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57 della L.R. 11 Marzo 2005, n. 12*”
- *Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*
- *Regolamento (UE) N. 1300/2014/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;*

- *Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019*
- *Regolamento UE N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019*
- *Regolamento (UE) N. 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea modificata con la Rettifica del 15 giugno 2016 e dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;*
- *REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/772 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica il regolamento (UE) n. 1300/2014 per quanto riguarda l'inventario delle attività al fine di individuare le barriere all'accessibilità, fornire informazioni agli utenti e monitorare e valutare i progressi compiuti in materia di accessibilità.*
- *REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/776 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabili nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.*

2.2 Documenti di progetto

Relazione di calcolo scatolare	NB1R 0 1 D 26 CL SL 0 1 0 0 001 A
Relazione di calcolo rampe	NB1R 0 1 D 26 CL SL 0 1 0 0 002 A
Relazione di calcolo paratie di micropali	NB1R 0 1 D 26 CL SL 0 1 0 0 003 A
Pianta e sezioni	NB1R 0 1 D 26 PA SL 0 1 0 0 001 A
Carpenteria scatolare	NB1R 0 1 D 26 BB SL 0 1 0 0 001 A
Carpenteria rampe Tav. 1/2	NB1R 0 1 D 26 BB SL 0 1 0 0 002 A
Carpenteria rampe Tav. 2/2	NB1R 0 1 D 26 BB SL 0 1 0 0 003 A
Fasi realizzative	NB1R 0 1 D 26 B9 SL 0 1 0 0 001 A
Vasca di accumulo locale pompe	NB1R 0 1 D 26 BA SL 0 1 0 0 001 A
Particolari, dettagli e finiture	NB1R 0 1 D 26 BZ SL 0 1 0 0 001 A
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	NB1R 0 0 D 69 RG GE 0 0 0 1 001 A
Relazione geotecnica	

3 PARAMETRI GEOTECNICI

3.1 Terreno di fondazione

Con riferimento alla Relazione geotecnica, nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per l'opera in esame, i relativi parametri geotecnici di calcolo. Le indagini di riferimento sono: L1-S11 e PNBGF1007. La falda è ad una profondità media di 20 metri da p.c.

Strato	Profondità media	Profondità media	Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
Ug3	0	8	A(L), A,G	Argilla limosa e argilla con ghiaia
Ug1	8	25	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia
Ug3	25	30	A(L), A,G	Argilla limosa e argilla con ghiaia

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	γ_n	K_0	φ'	c'	c_u	G_0	E_0	E_{op1}	E_{op2}	ν'	k_v (*)
	[kN/m ³]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
Ug3	19	0.60	24	0	8 - 10	20 - 30	50 - 75	3 - 4	5 - 7	0.25	1.00E-10
Ug1	20	0.426	35	0	-	120 - 150	300 - 375	25 - 30	32 - 40	0.25	1.00E-04
Ug3	19	0.60	24	0	150	150	375	30	50	0.25	1.00E-10

Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità.
- (*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale $k_h = 10 k_v$ per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare $k_h = k_v$.
- I moduli E_{op1} ed E_{op2} sono da adottarsi rispettivamente E_{op1} per problemi di "primo carico" (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed E_{op2} per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).

3.2 Classificazione sismica

E' stata condotta un'indagine MASW, vicino al luogo dove sarà posizionato il monolite, che ha dato questi risultati:

Prova	Vs(eq)	Suolo
R16	429	B



Figura 3: Localizzazione della MASW effettuata

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo

- MICROPALI

Classe C25/30

Resistenza a compressione di progetto $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ MPa}$

Modulo elastico $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = : XC2

Calcestruzzo tipo H2

Copriferro minimo = 60mm

- SOLETTA INFERIORE

Classe C25/30

Resistenza a compressione di progetto $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ MPa}$

Modulo elastico $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = XC2

Calcestruzzo tipo G2

Copriferro minimo = 50 mm

- MAGRONE:

Classe C12/15

Classe di esposizione = X0

4.2 Acciaio da armatura ordinaria

Acciaio tipo B450 C

Resistenza di calcolo $f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 391 \text{ MPa}$

Modulo elastico $E_s = 200 \text{ GPa}$

4.3 Acciaio per armatura micropali e puntelli

Acciaio tipo S355

Resistenza di calcolo $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 338 \text{ MPa}$

Modulo elastico $E_s = 200 \text{ GPa}$

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100003	REV. A

5 SOFTWARE DI CALCOLO

Lo stato tenso-deformativo delle strutture è stato investigato mediante il software di calcolo PARATIE [Ce.A.S. s.r.l. - Milano].

Tale software è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da una paratia flessibile e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è schematizzato nel piano, per cui viene analizzata una porzione di struttura di profondità unitaria. La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo "trave su suolo elastico": le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una molla, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie puntonate viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di puntoni applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di sollecitazioni e deformazioni laterali subite dalla parete e dalla soletta durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100003	REV. A

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi °
- angoli: gradi sessadecimali.

Per limitare la flessibilità dell'opera, anche in considerazione del fatto che essa dovrà essere funzionale anche in fase di esercizio, si è modellata la paratia come una parete composta da due paratie affiancate (cwall elements). Tali elementi sono pensati per modellare elementi strutturali composti da due sotto-componenti compatte collegate, lungo l'asse mediano, da una giunzione più o meno deformabile e resistente. In questo modo il comportamento complessivo, sempre legato alle sole deformazioni laterali della parete, si discosta da quello di una sezione compatta.

In questo caso le paratie sono costituite da due schiere di micropali disposti alternativamente su due linee eccentriche rispetto alla linea media della sezione. La collaborazione tra le due parti è garantita dall'attrito

I risultati sono i momenti flettenti e azioni taglianti (sempre per unità di sviluppo di parete) di ciascuna delle due sotto-componenti e le azioni assiali (uguali e contrarie) che nascono a causa della distanza tra di esse

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100003	REV. A

6 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

6.1 Peso proprio della struttura (g_1)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a. $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$. Il peso proprio viene automaticamente calcolato dal software di calcolo in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

6.2 Carichi permanenti portati (g_2)

Nel tratto a nord della ferrovia, per profondità di scavo comprese tra 5m e 3m, sono stati considerati dei carichi permanenti di 50 kN/m^2 a circa 2m di distanza su un solo lato dello scavo. Tali carichi rappresentano il peso degli edifici esistenti, che grava sotto forma di spinta costante sulle paratie.

6.3 Spinta delle terre e dell'acqua

L'entità della spinta delle terre sulla paratia è determinata fase per fase dal software di calcolo, a partire dal coefficiente di spinta a riposo

$$k_{0,Ug1} = 1 - \text{sen } \varphi = 0.426$$

$$k_{0,Ug3} = 1 - \text{sen } \varphi = 0.6$$

ed in considerazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva dello strato Ug1, determinati di seguito:

$$k_{a,Ug1} = \tan(45 - \varphi/2)^2 = 0.271$$

$$k_{a,Ug3} = \tan(45 - \varphi/2)^2 = 0.422$$

$$k_{p,Ug1} = \tan(45 + \varphi/2)^2 = 3.69$$

$$k_{p,Ug3} = \tan(45 + \varphi/2)^2 = 2.372$$

Per la spinta idrostatica si fa riferimento al peso di volume dell'acqua pari a 10 kN/m^3 .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100003	REV. A

6.4 Carichi accidentali (q_{acc})

Nella zona in adiacenza allo scavo, sono stati considerati dei carichi accidentali di 20kN/m^2 su una fascia di 5m da entrambi i lati dello scavo, ove consentito dall'assenza di edifici.

6.5 Urto sui parapetti (q_{ecc})

Si considera la condizione eccezionale di urto sul muretto di parapetto, ancorato al cordolo superiore, di un mezzo transitante lungo la strada parallela al sottopasso. La forza dovuta all'urto è assunta a partire dalla tabella seguente, tratta dal §3.6.3.3.1 delle NTC 2018.

Tab. 3.6.III – Forze statiche equivalenti agli urti di veicoli

Tipo di strada	Tipo di veicolo	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Autostrade, strade extraurbane	-	1000
Strade locali	-	750
Strade urbane	-	500
Aree di parcheggio e autorimesse	Automobili	50
	Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t	150

La viabilità parallela alla pista ciclabile, sarà a senso unico alternato ed assimilabile come velocità di transito ad un'area di parcheggio. Pertanto si assume come forza massima per l'urto il valore di $F_{d,x} = 150\text{kN}$. Come prescritto dalla norma, tale forza è applicata a 1m dal piano viario (altezza del muro -10cm) e distribuita su una lunghezza di 1.5m. Diffondendo la forza lungo l'altezza del muro con un angolo di 45° si ottiene che all'incastro tra il muro e il cordolo, collocato circa 20cm sotto il piano viario, si ottiene una larghezza di diffusione

$$L = 1.2 + 1.5 + 1.2 = 3.9\text{m}$$

Pertanto la forza orizzontale ed il momento a metro lineare da applicare in testa alla paratia sono:

$$F_{ecc} = 150/3.9 = 38\text{kN/m}$$

$$M_{ecc} = 38 \cdot 1.2 = 46\text{kNm/m}$$

6.6 Azioni sismiche

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera $VN = 50$ anni

- Classe d'uso dell'opera II Cu = 1
- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.6919°N e Long. = 9.6107°E)

		a_g	F_0	T^*_c
T_R	30	0.028	2.447	0.197
T_R	50	0.036	2.487	0.212
T_R	475	0.102	2.426	0.272
T_R	975	0.134	2.454	0.278

dove:

$T_R \rightarrow$ tempo di ritorno;

$a_g \rightarrow$ accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0 \rightarrow$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*_c \rightarrow$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

		a_{max}
T_R	30	0.034
T_R	50	0.043
T_R	475	0.122
T_R	975	0.161

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

In base alle accelerazioni massime attese sul sito in esame si valutano, alla luce dei parametri valutati sopra nella condizione di S.L.V., i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche, con le espressioni che seguono.

$$k_h = a_g / g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \alpha \cdot \beta$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h$$

Nella precedente espressione, i coefficienti α e β assumono i valori desunti dalle Figg. 7.11.2 e 7.11.3 delle NTC.

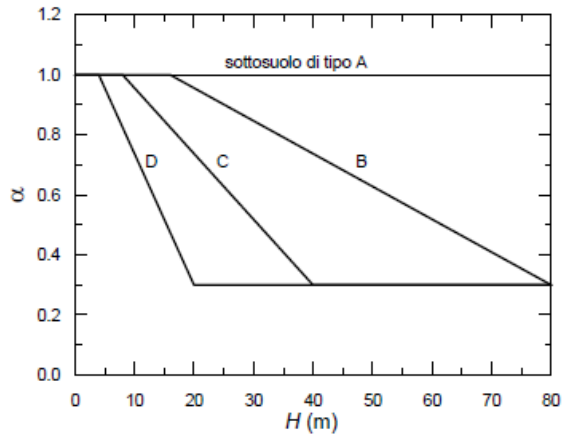


Fig. 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

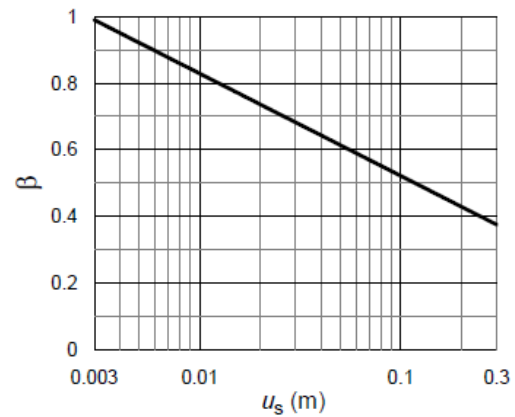


Fig. 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

L'incremento di spinta è calcolato tramite la procedura automatica del software.

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (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 caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$

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

Per le verifiche SLU si adottano i valori dei coefficienti parziali riportati nella seguente tabella.

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Q}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti G_1 ;

γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali G_2 ;

γ_{Q} coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nella tabella seguente si riportano i coefficienti utilizzati per le azioni nelle combinazioni generate automaticamente dal software di calcolo.

Attivo	Std	Collezione	Nome	Stato Limite	Descrizione	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_earth_load)	Pressioni Acqua Lato Monte (F_WaterDN)	Pressioni Acqua Lato Valle (F_WaterUp)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_LPL_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_LPL_GSStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_LPL_ODStab)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_HFD_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HFD_GSStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HFD_ODStab)	Deformazione anelastica (F_elastic_train)	
						A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
<input checked="" type="checkbox"/>			Nominal	UNDEFINED		1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SLE (Rara/Frequenza)	SERVICE		1	1	1	0	<input type="checkbox"/>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: A1-M1-R1 (R3 p)	ULTIMATE		1,3	1	1,5	0	<input type="checkbox"/>	1	1	1	1	1	1	1	0,9	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: A2-M2-R1	ULTIMATE		1	1	1,3	0	<input type="checkbox"/>	1	1	1	1	1	1	1,3	0,9	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SISMICA STR	ULTIMATE		1	1	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SISMICA GEO	ULTIMATE		1	1	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	1	1	1	1	1,3	0,9	1	1

8 MODELLO DI CALCOLO

Come già descritto in precedenza, il software utilizzato, consente di modellare lo scavo e le opere di sostegno e puntellazione durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale, in modo da valutarne l'evoluzione dello stato deformativo e sollecitativo.

Sono state modellate quattro tipologie di paratia in cui varia la profondità di scavo, lo spessore e la lunghezza dei micropali e la presenza o meno di puntelli provvisori.

	Scavo	Pali				Puntelli
	H (m)	L (m)	Ø (cm)	Armatura	Cs x d	
TIPO 1	2.8	15	30	Ø139.7x12	25x25	no
TIPO 2	4	12	30	Ø139.7x12	25x25	HEB200/4m
TIPO 3	5	15	30	Ø139.7x12	25x25	HEB200/4m
TIPO 4	7.25	18	30	Ø168.3x12	25x25	HEB200/4m

Come già menzionato, la falda è collocata a 20m di profondità rispetto al piano campagna, di conseguenza non interferisce mai con le paratie.

Nella tabella le sigle indicano:

H profondità dello scavo, penalizzata secondo quanto indicato al §6.5.2.2

L lunghezza dei micropali

Ø diametro dei micropali

Cs interasse longitudinale dei micropali in una fila

d interasse trasversale tra file di micropali

Di seguito si riportano le fasi di calcolo modellate:

FASE 0: si realizza l'opera di sostegno costituita da una paratia di micropali come descritto in precedenza. La quota di testa è impostata all'altezza del piano campagna. L'altezza totale delle paratie (distanza tra estradosso cordolo di sommità ed estremità inferiore dei pali) è pari a L. A tergo dell'opera di sostegno si ipotizza un sovraccarico accidentale caratteristico pari a 20kN/m², come descritto in precedenza. Per le tipologie 2 e 3, inoltre, è considerato un carico

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100003	REV. A

permanente di 50kN/m^2 posto a 2m dalla paratia stessa. Tale carico simula la presenza degli edifici su un lato dello scavo.

FASE 1: dove necessario, si effettua uno scavo di 2m, necessario al posizionamento dei puntelli.

FASE 1a: posizionamento dei puntelli.

FASE 2: si effettua, per step successivi, lo scavo al di sotto della soletta fino a scendere alla quota della soletta inferiore, situata a H dal piano campagna.

FASE 3: viene realizzata la soletta inferiore, di spessore variabile a seconda della profondità della rampa. Questo elemento, nel modello globale, è considerato un puntone, quindi non si considera incastrato alla paratia di micropali, ma solamente in accosto ad essa. Rimozione della puntellazione superiore. Per le paratie tipo 4, dove è prevista la creazione della vasca di raccolta, si considera che la puntellazione provvisoria sia rimossa solamente una volta realizzata la soletta superiore della vasca.

FASE 4: si applicano le azioni dovute all'azione del sisma SLV. Il sisma è stato applicato tramite la procedura automatica del software Paratie Plus.

URTO: in una copia del modello, si considera come fase finale la condizione eccezionale di urto di un veicolo sul parapetto superiore. Su un solo lato della paratia, si applicano contemporaneamente le azioni da urto, illustrate al §6.5, ed un carico distribuito da 20kN/m^2 .

Le paratie sono studiate sia in condizioni drenate che non drenate. Le condizioni sismiche e di urto sul parapetto, data la breve durata della sollecitazioni, sono considerate solamente in condizioni drenate.

Di seguito si riportano le fasi definite durante il calcolo, per una tipologia.

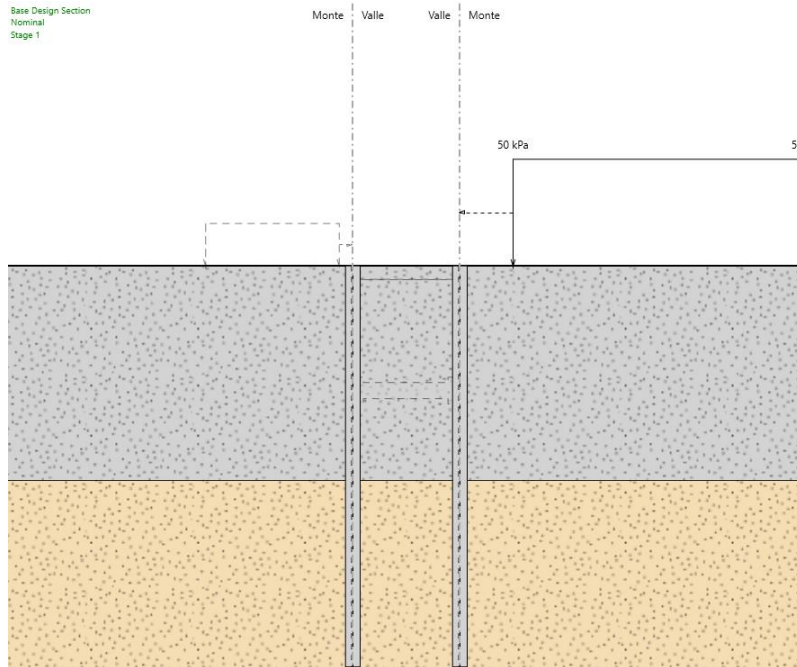


Figura 4: Fasi realizzative: Fase 0

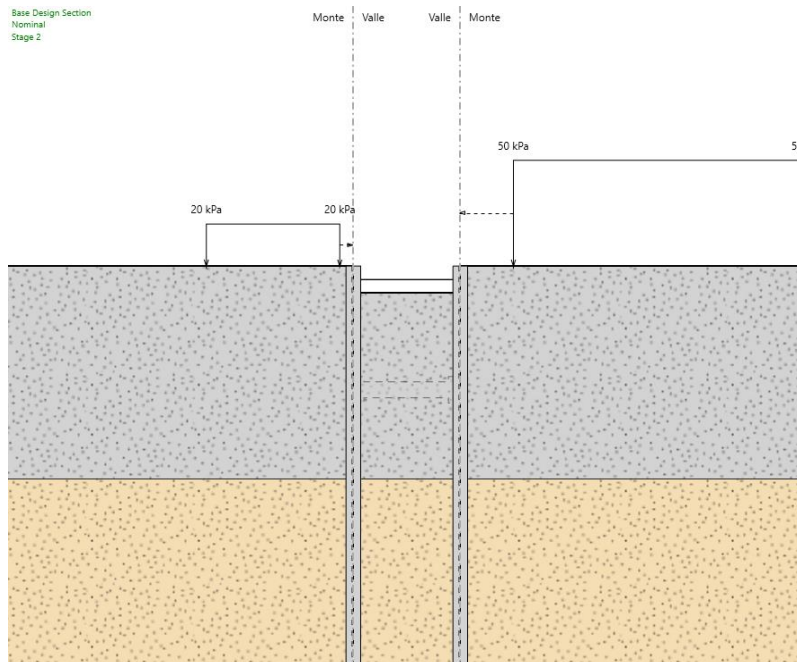


Figura 5: Fasi realizzative: Fase 1

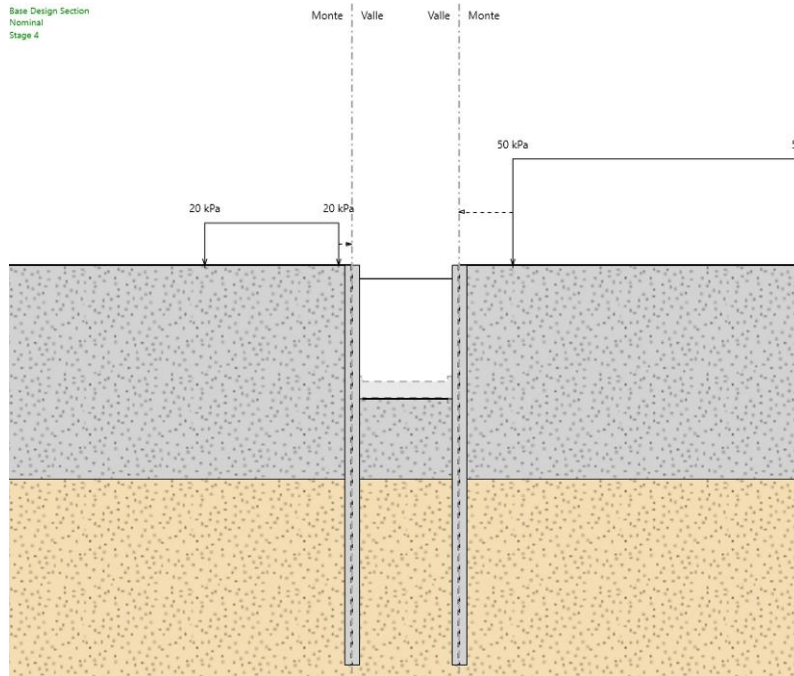


Figura 6: Fasi realizzative: Fase 2

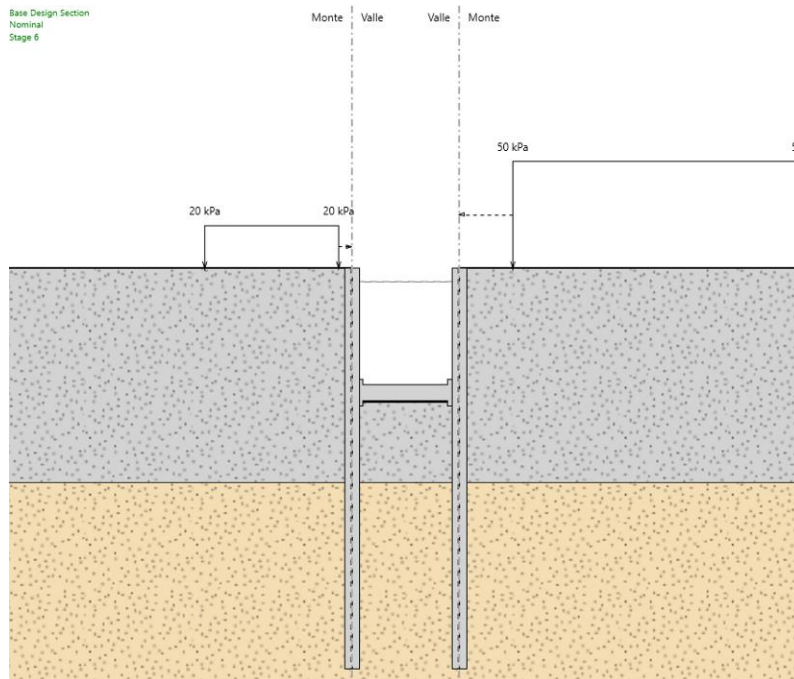


Figura 7: Fasi realizzative: Fase 3

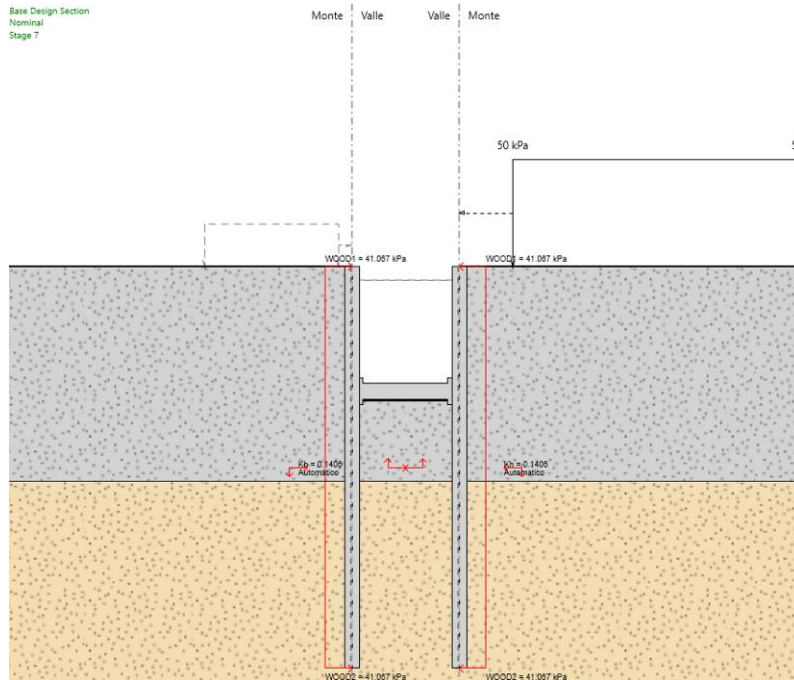


Figura 8: Fasi realizzative: Fase 4

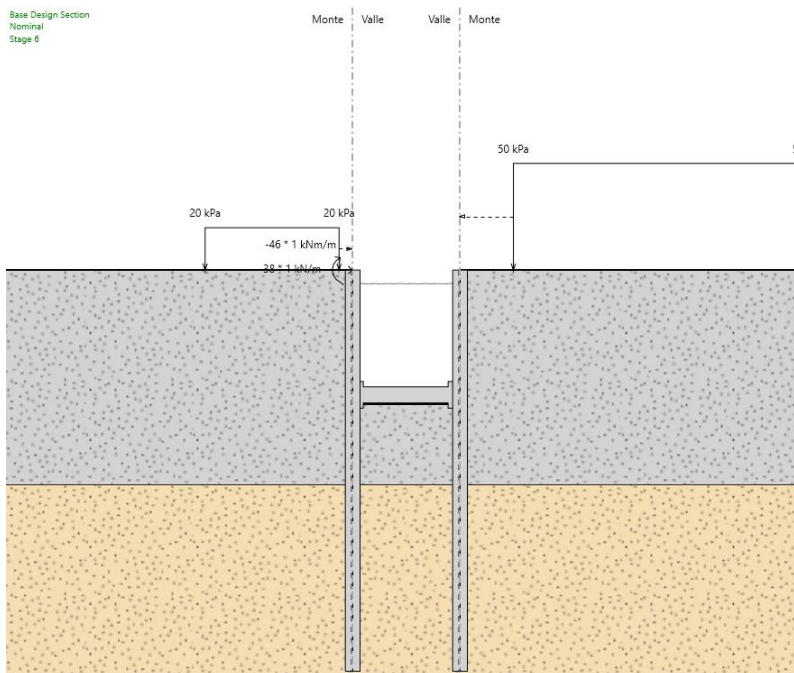
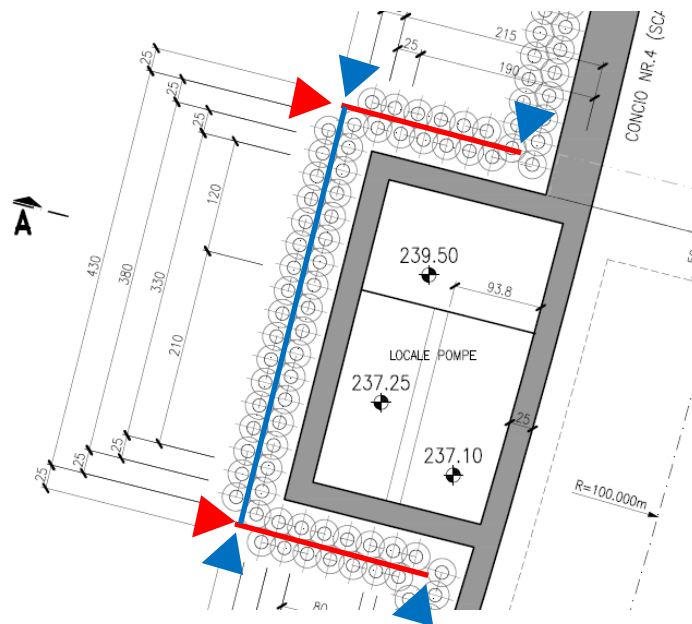


Figura 9: Fasi realizzative: Urto

8.1 Scavo per il vano di pompaggio

In corrispondenza della parte terminale della vasca, limitatamente ad una porzione di 3.8m di lunghezza, lo scavo ha un allargamento di circa 2.15m ed un approfondimento di 0.8m, che consentirà di alloggiare il vano pompe. In questa zona, nonostante la maggiore altezza di scavo, la conformazione geometrica della paratia gioca a favore della stabilità della stessa, in quanto i tratti di paratia ortogonali tra loro agiscono da vincolo reciproco.



Tale vincolo, illustrato nella figura precedente, oltre che in sommità della paratia, grazie alla continuità offerta dal cordolo, agisce anche su tutta l'altezza della paratia, grazie all'effetto di ingranamento reciproco tra i micropali.

La condizione risulta quindi meno gravosa rispetto alla zona di scavo corrente in corrispondenza della vasca.

9 SINTESI RISULTATI

9.1 Paratia tipo 1

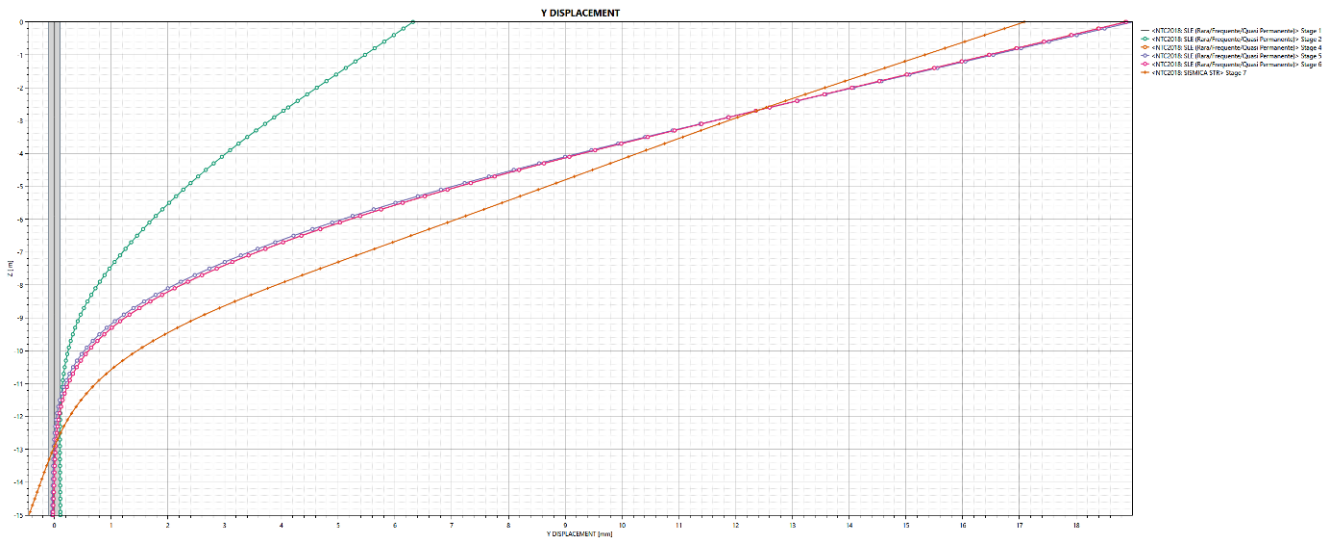


Figura 10: Spostamenti nominali della paratia nelle principali fasi

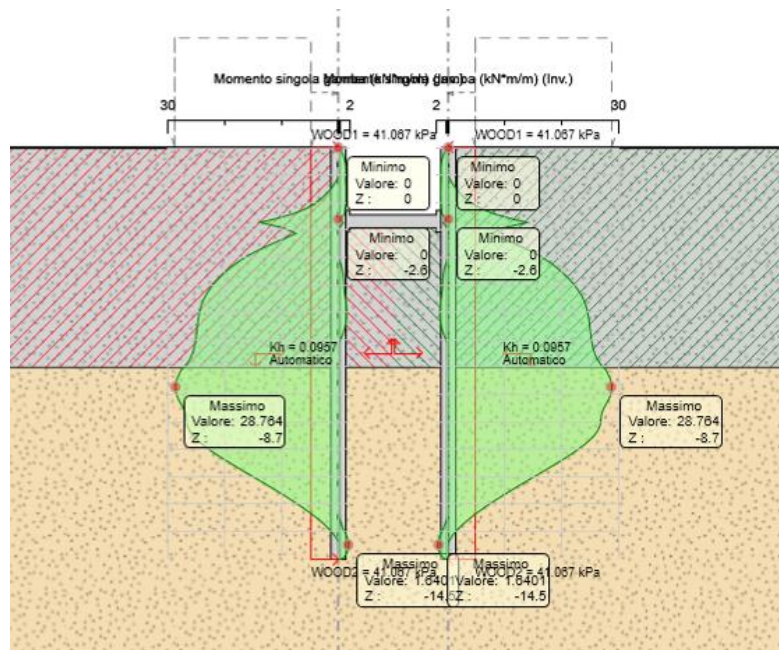


Figura 11: Involuppo dei momenti agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

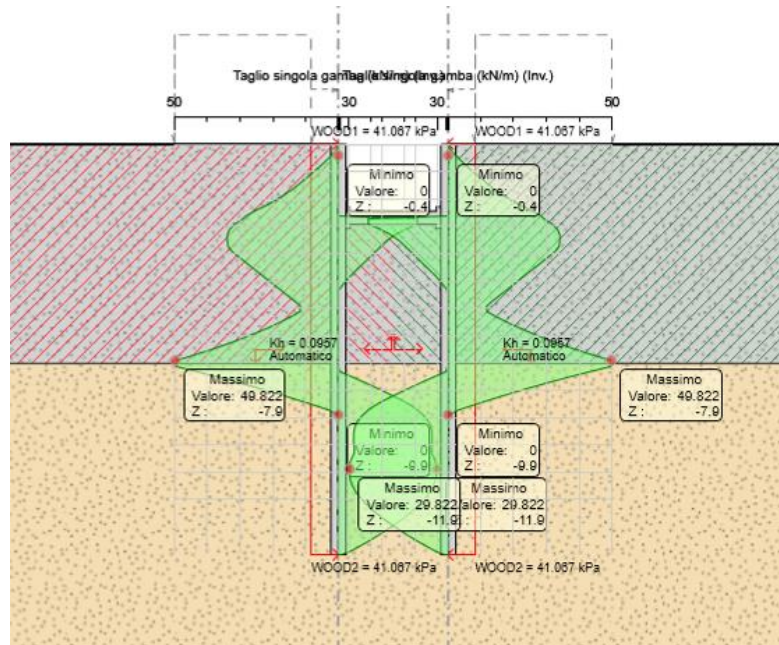


Figura 12: Involuppo del taglio agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

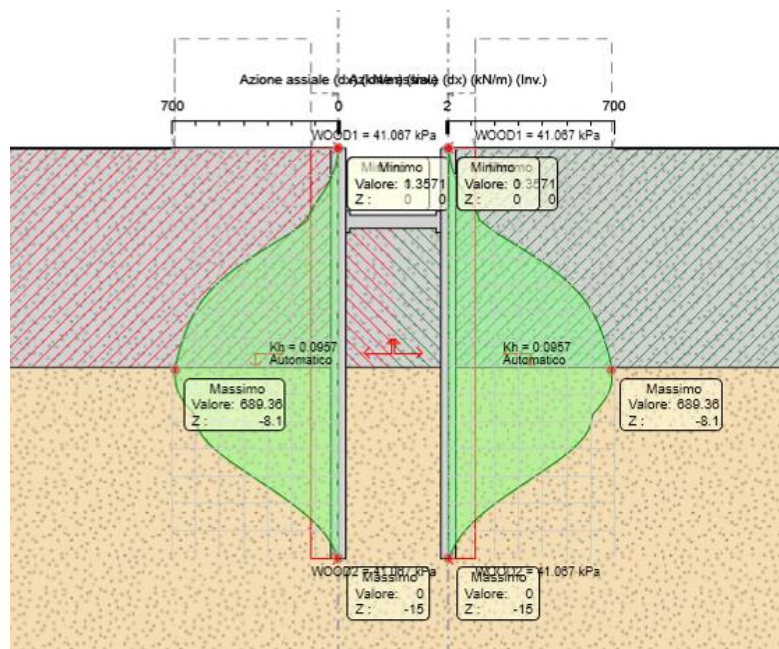


Figura 13: Involuppo dello sforzo assiale agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

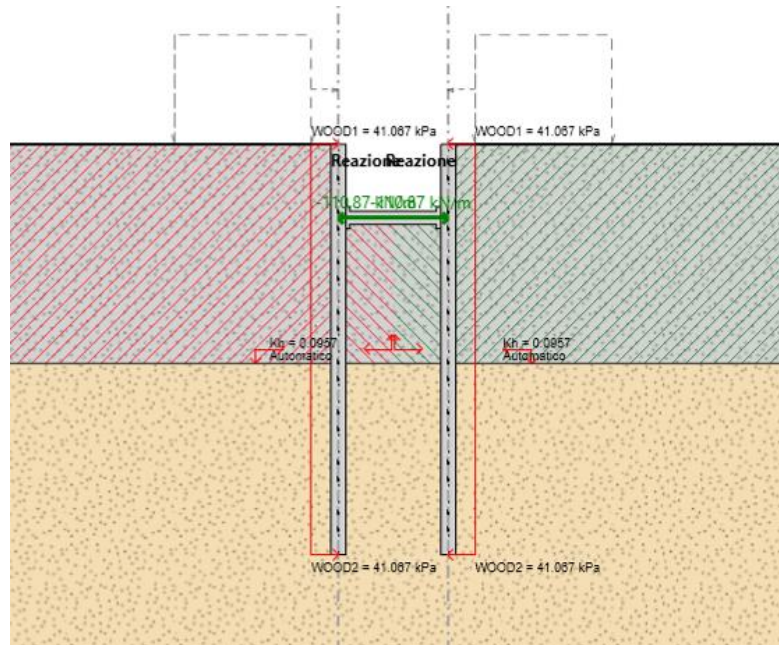


Figura 14: Involuppo delle reazioni vincolari allo SLU/SLV (tutte le fasi)

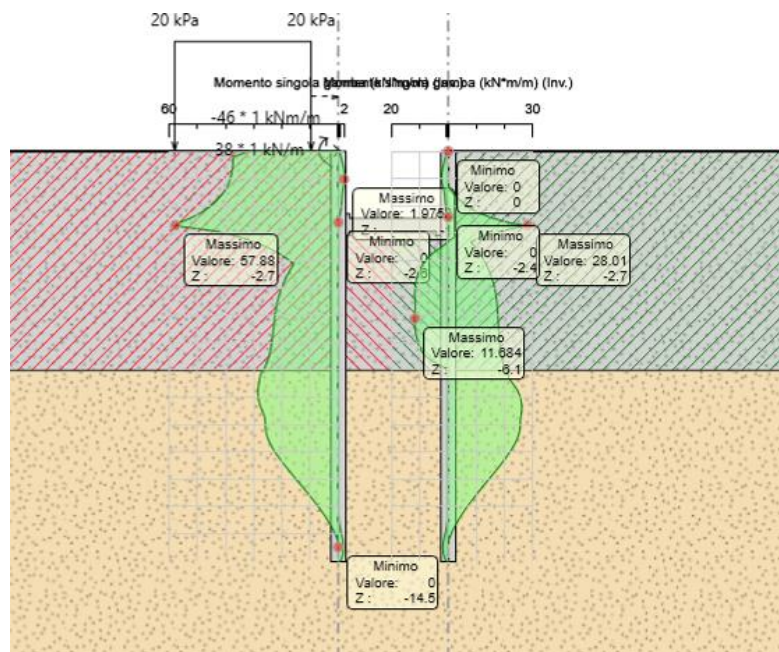


Figura 15: Diagramma del momento flettente per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

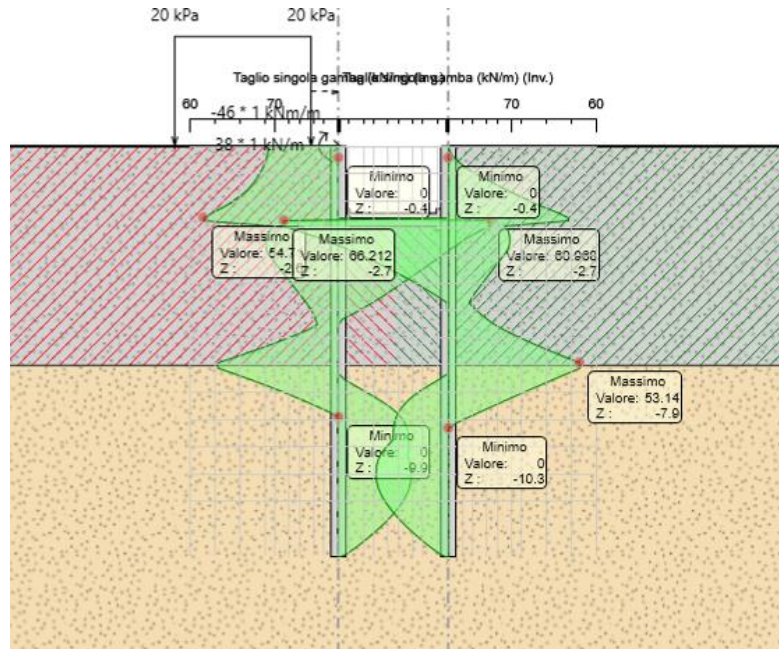


Figura 16: Diagramma del taglio per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

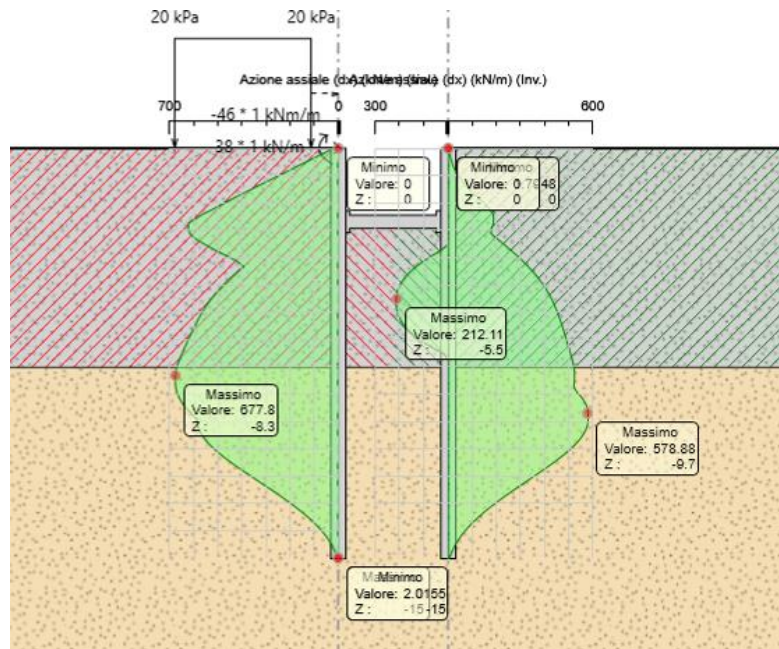


Figura 17: Diagramma dello sforzo assiale per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

1.1. Paratia tipo 2

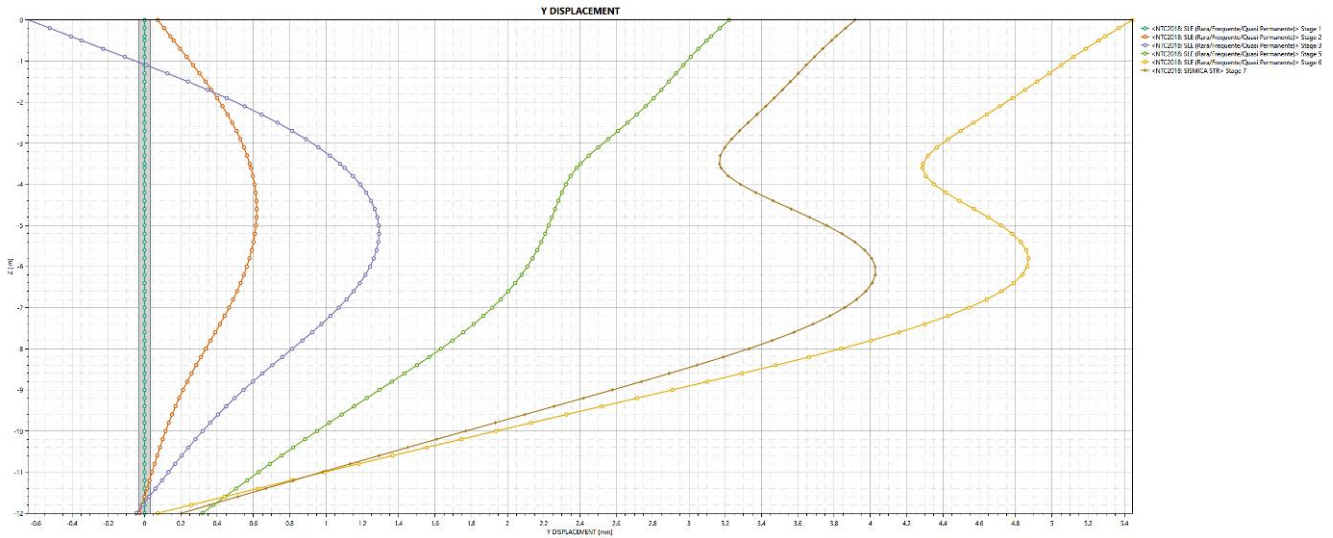


Figura 18: Spostamenti nominali della paratia nelle principali fasi (paratia lato strada)

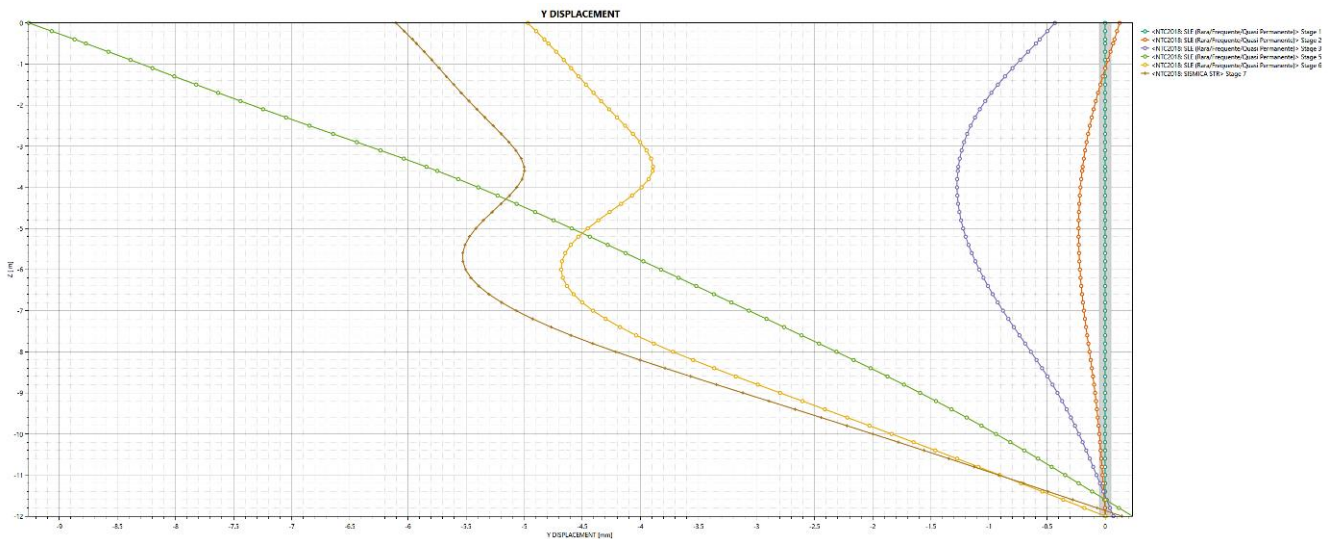


Figura 19: Spostamenti nominali della paratia nelle principali fasi (paratia lato edifici)

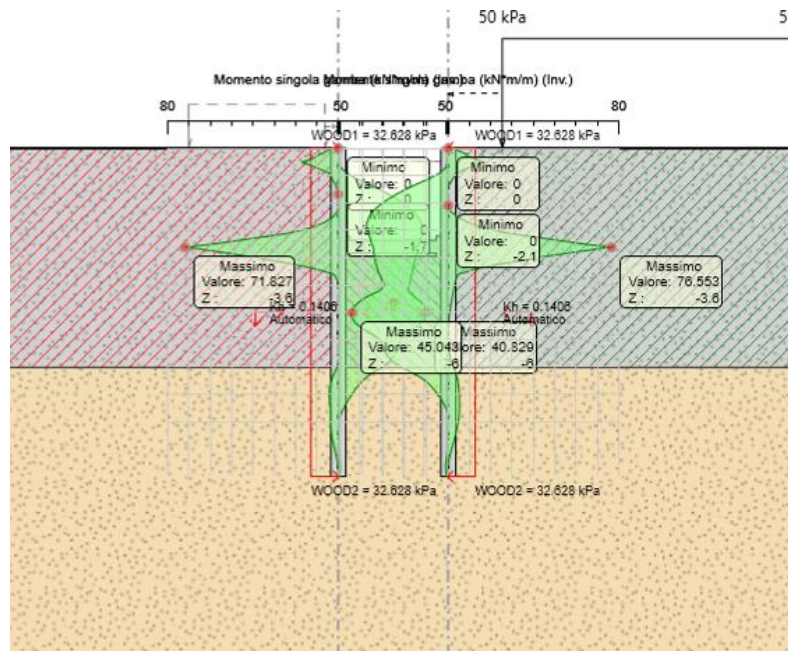


Figura 20: Involuppo dei momenti agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

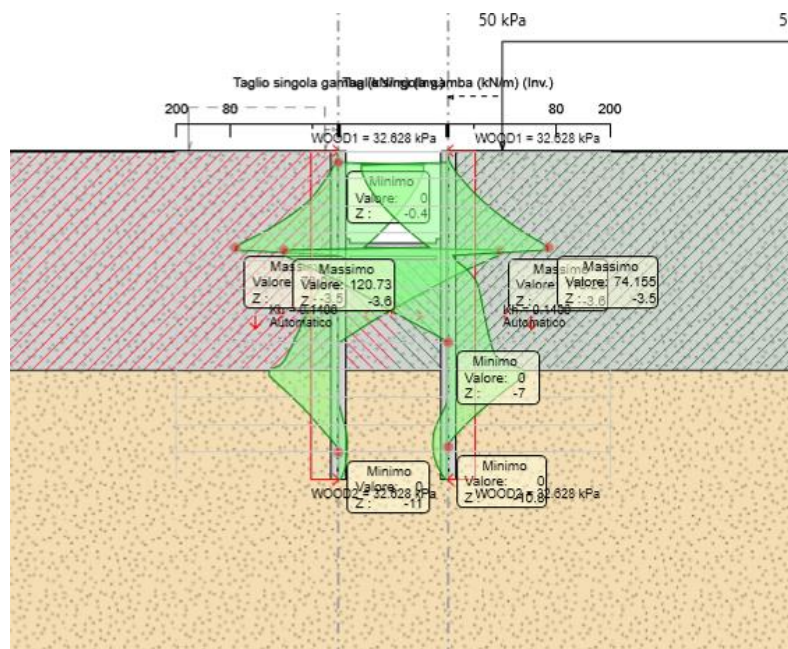


Figura 21: Involuppo del taglio agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

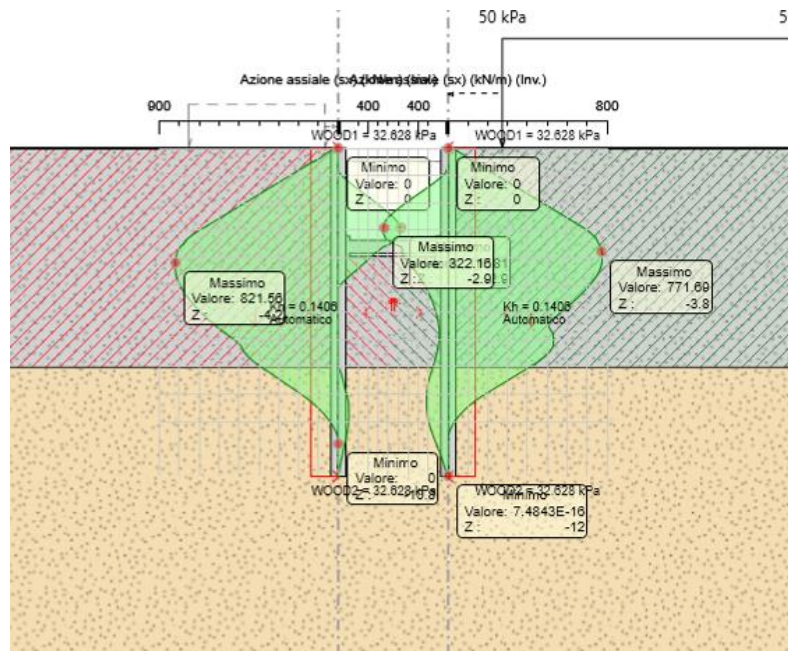


Figura 22: Involuppo dello sforzo assiale agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

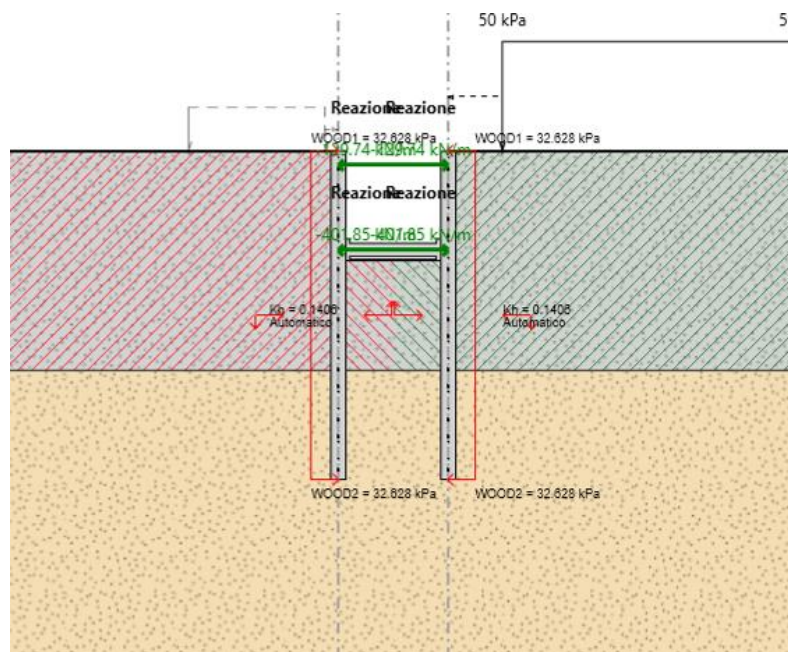


Figura 23: Involuppo delle reazioni vincolari allo SLU/SLV (tutte le fasi)

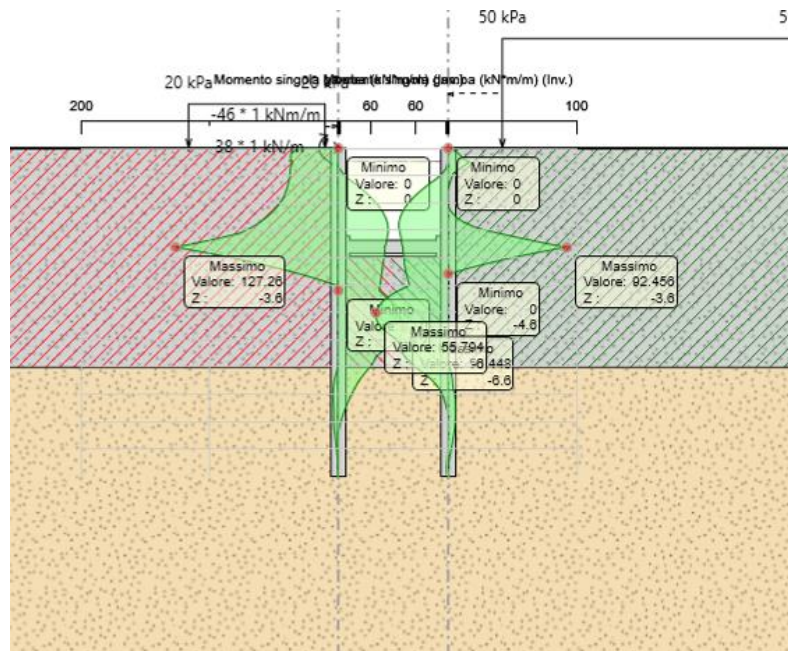


Figura 24: Diagramma del momento flettente per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

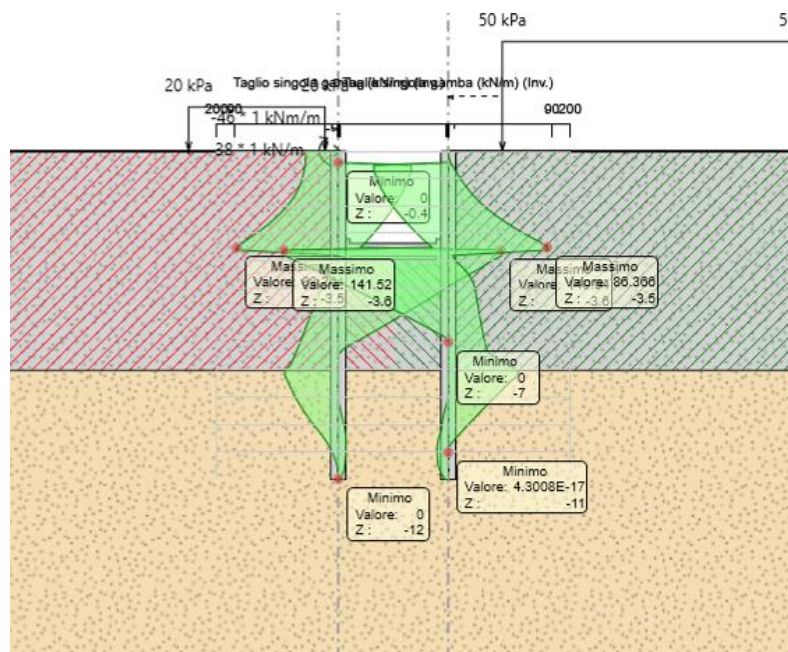


Figura 25: Diagramma del taglio per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

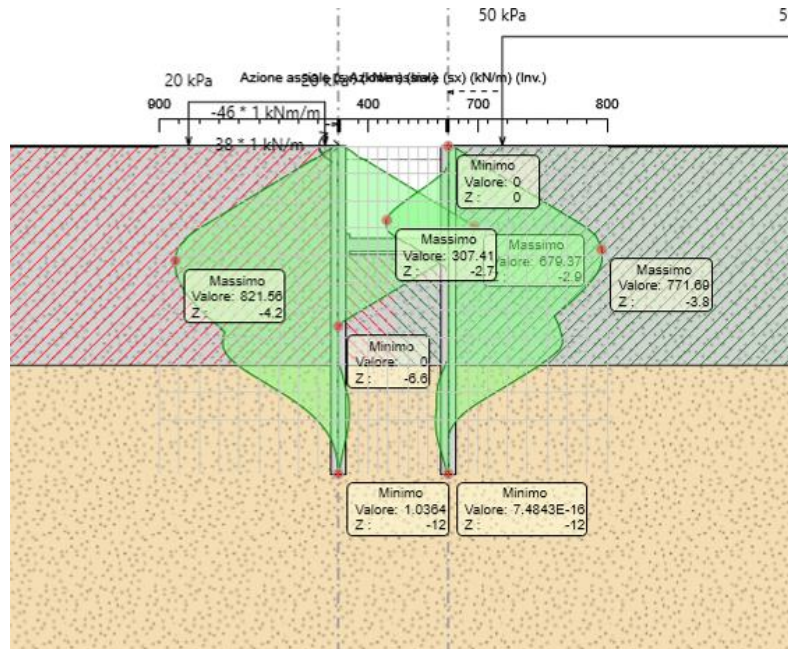


Figura 26: Diagramma dello sforzo assiale per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

1.2. Paratia tipo 3

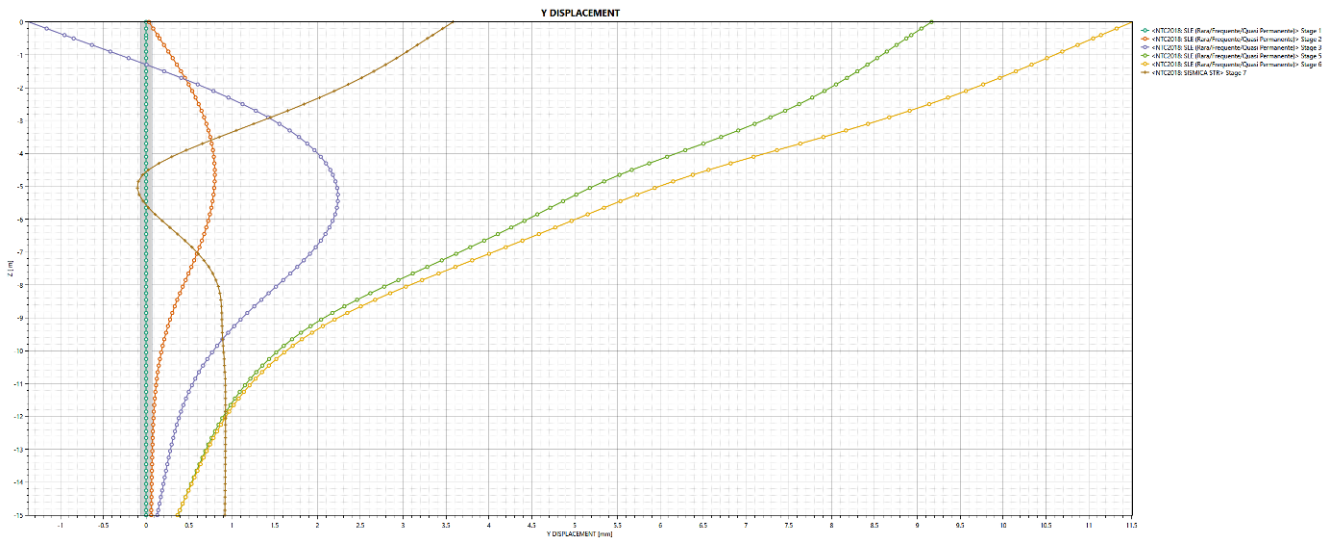


Figura 27: Spostamenti nominali della paratia nelle principali fasi (paratia lato strada)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100003	A	38 di 58

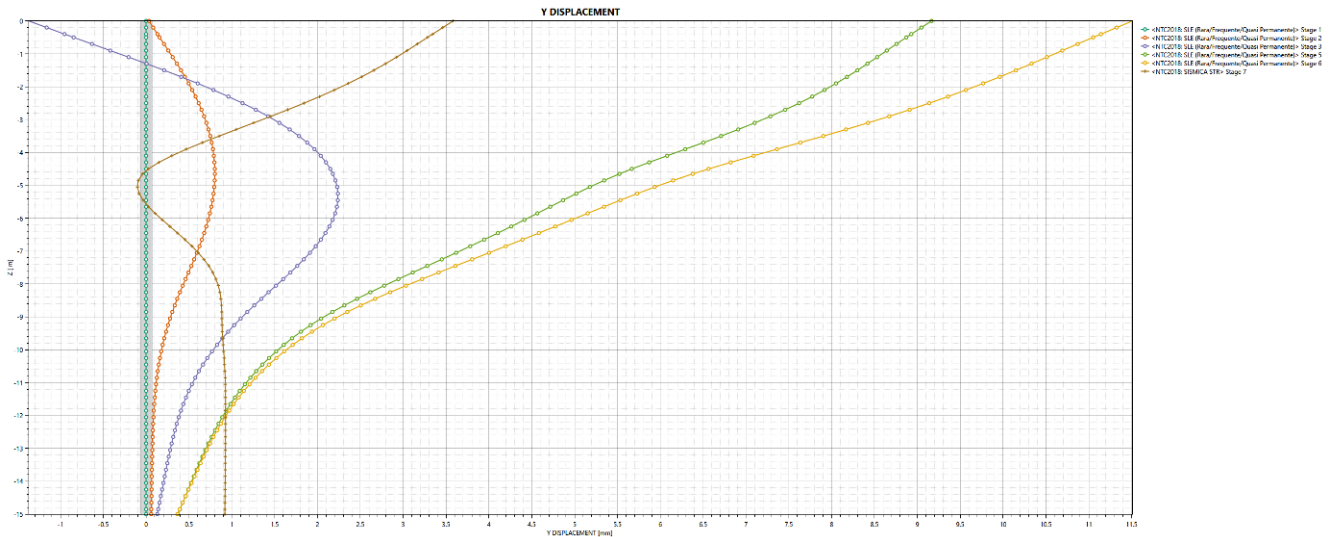


Figura 28: Spostamenti nominali della paratia nelle principali fasi (paratia lato edifici)

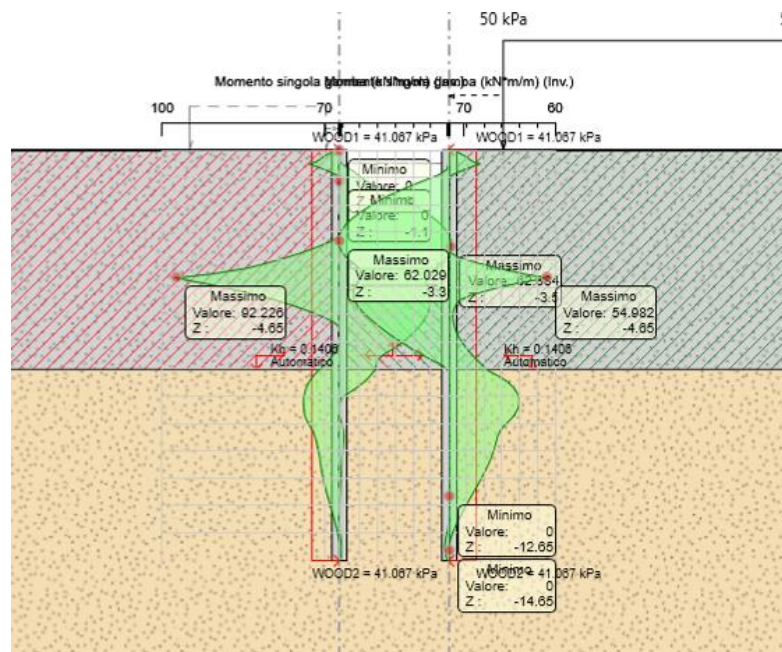


Figura 29: Involuppo dei momenti agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

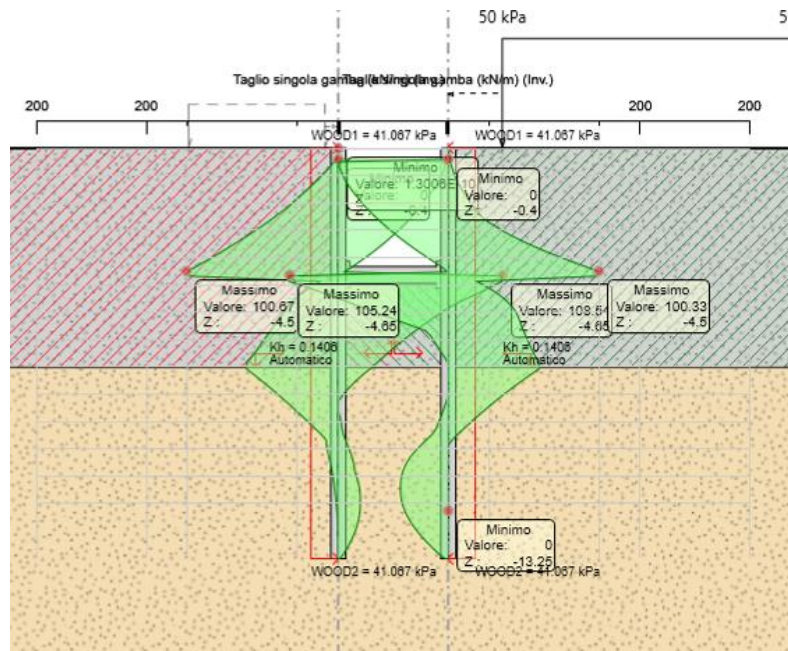


Figura 30: Involuppo del taglio agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

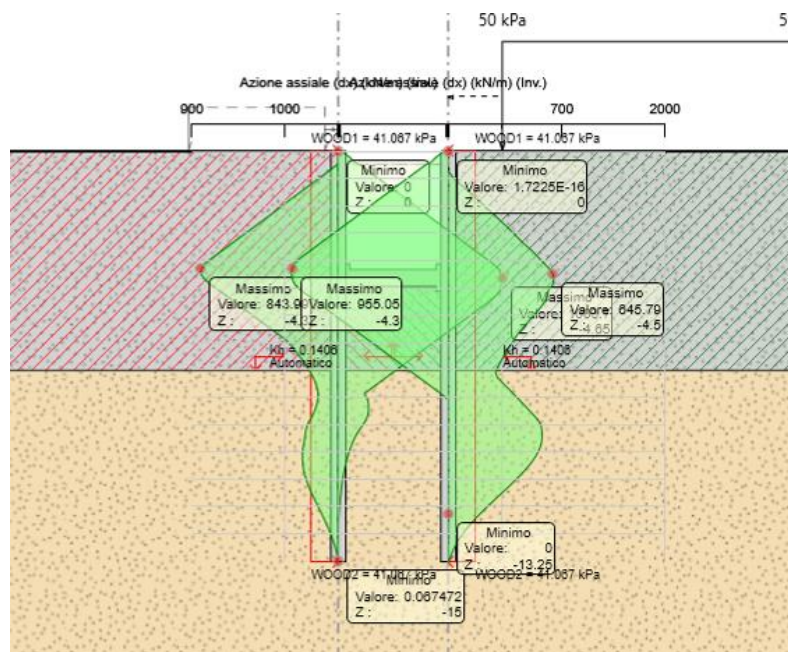


Figura 31: Involuppo dello sforzo assiale agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

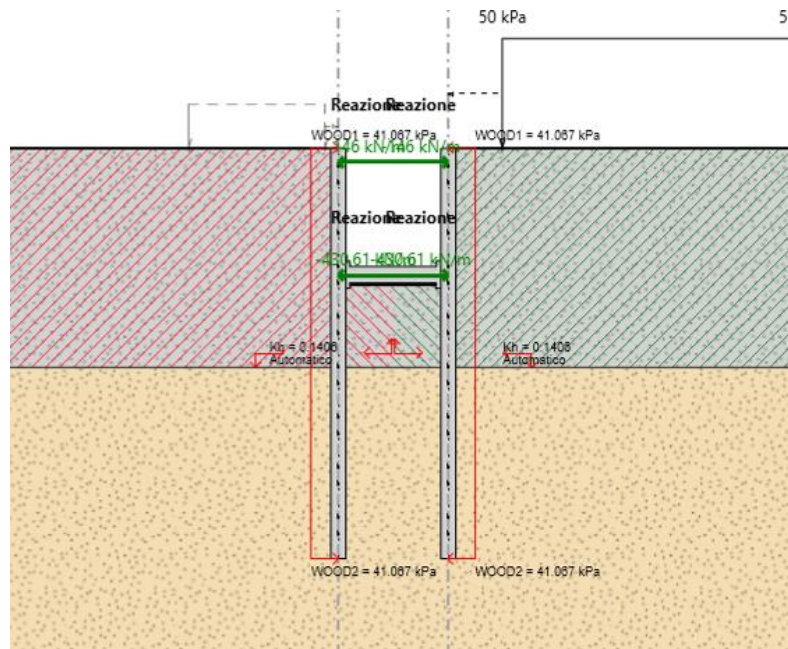


Figura 32: Involuppo delle reazioni vincolari allo SLU/SLV (tutte le fasi)

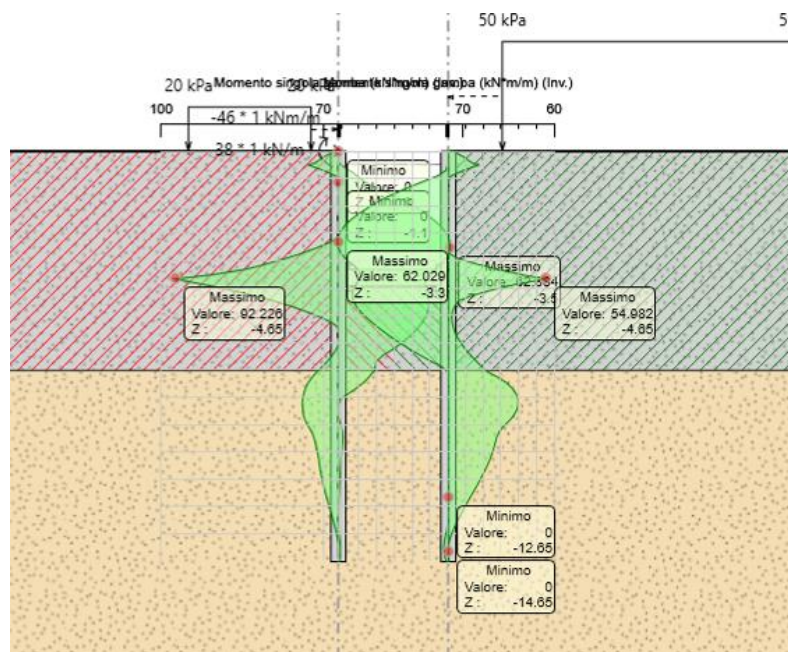


Figura 33: Diagramma del momento flettente per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

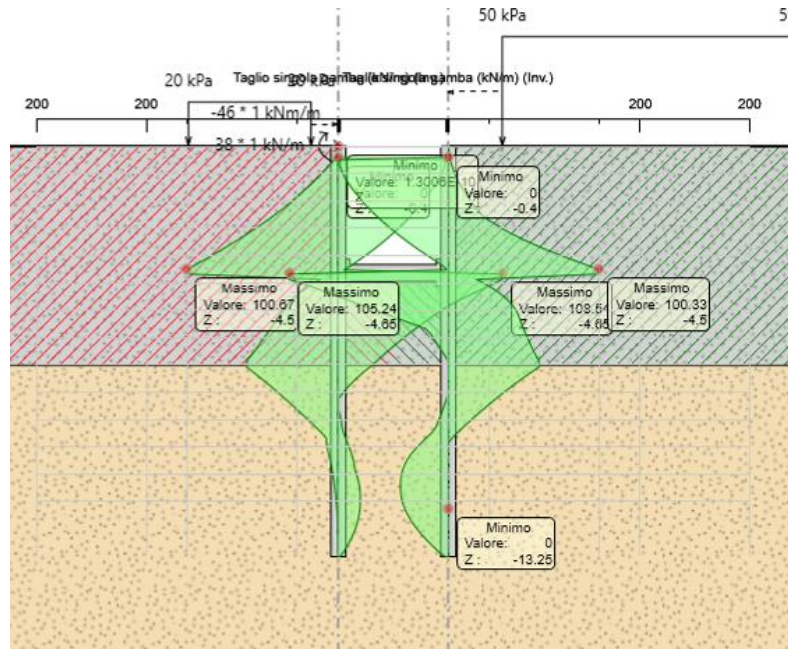


Figura 34: Diagramma del taglio per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

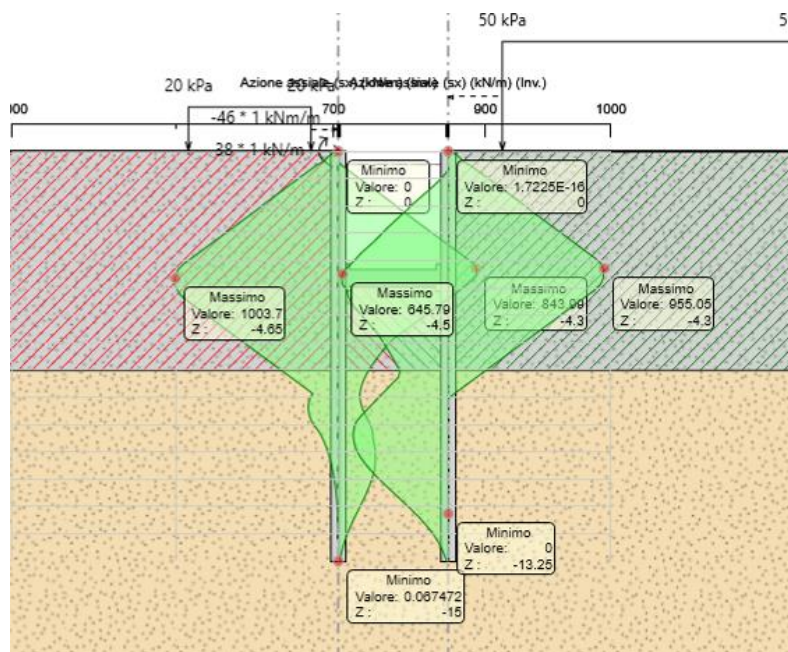


Figura 35: Diagramma dello sforzo assiale per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

1.3. Paratia tipo 4

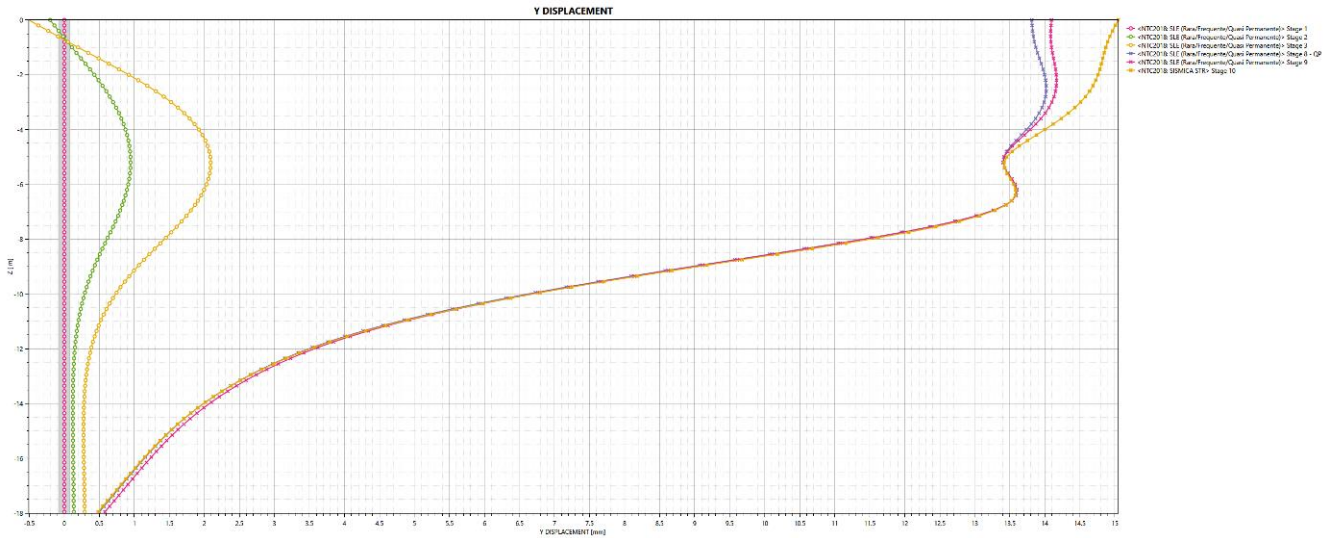


Figura 36: Spostamenti nominali della paratia nelle principali fasi

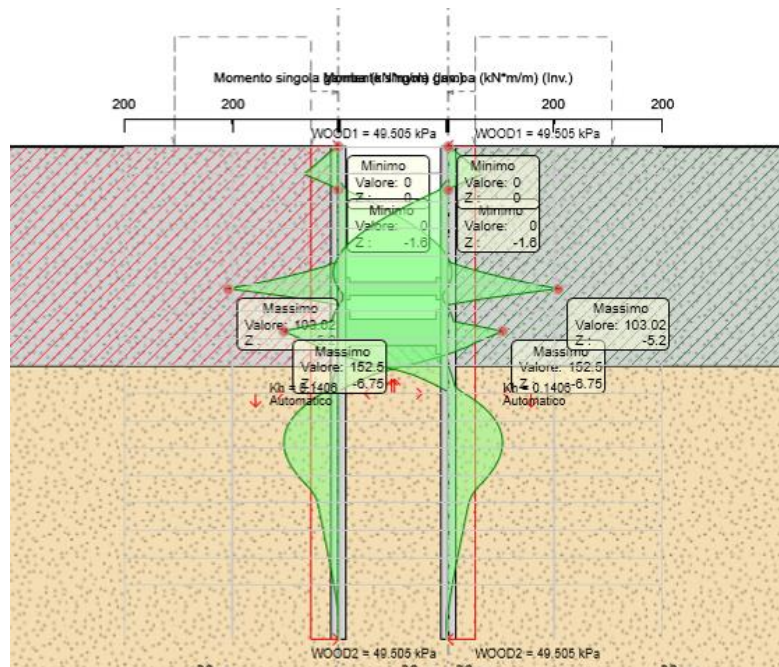


Figura 37: Involuppo dei momenti agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

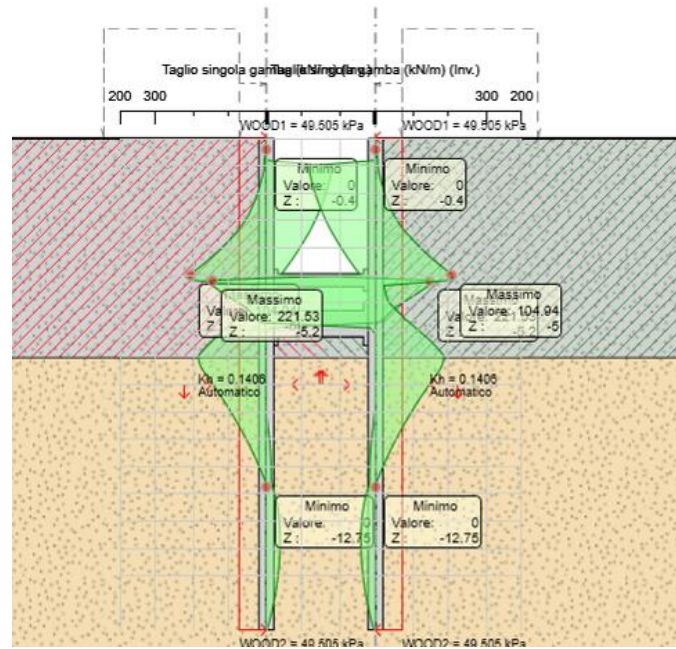


Figura 38: Involuppo del taglio agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

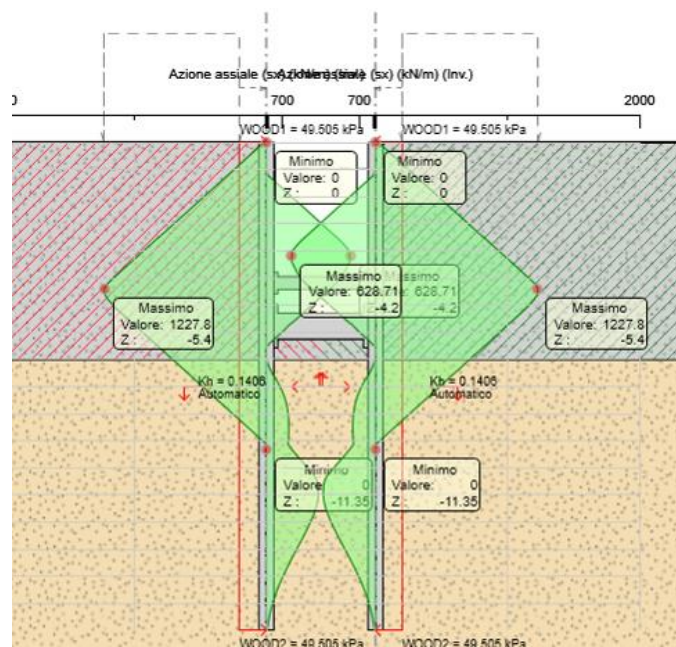


Figura 39: Involuppo dello sforzo assiale agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

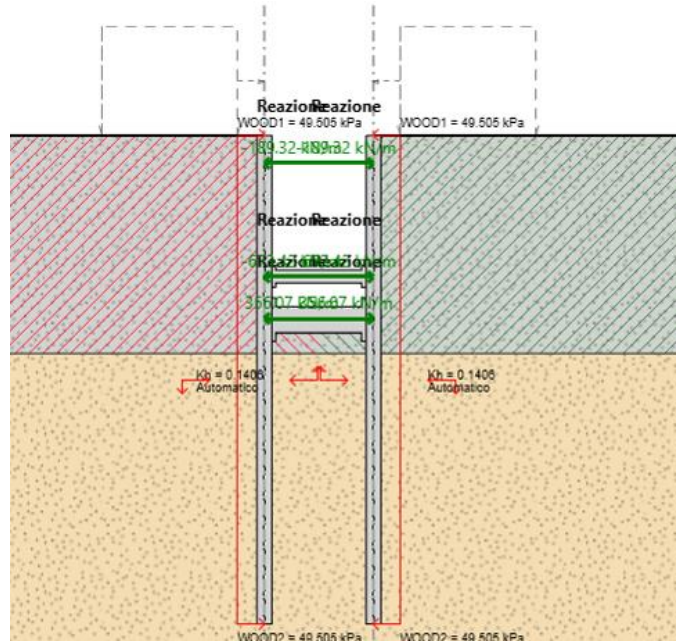


Figura 40: Involuppo delle reazioni vincolari allo SLU/SLV (tutte le fasi)

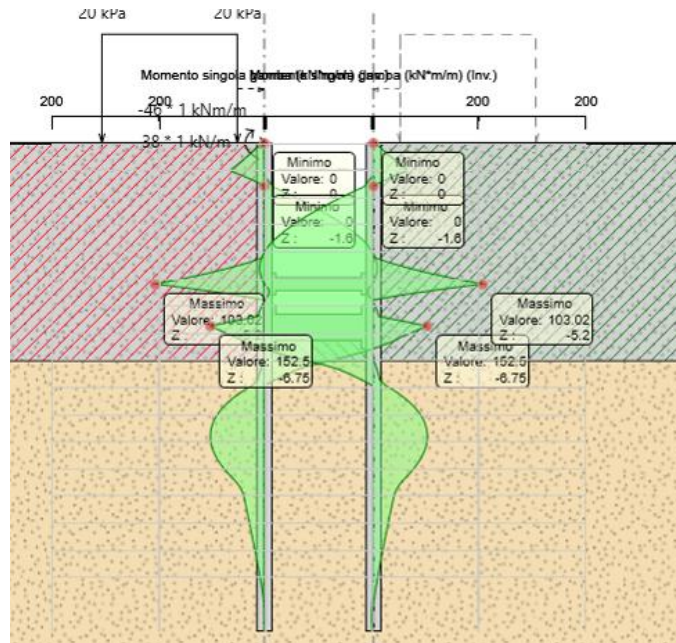


Figura 41: Diagramma del momento flettente per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

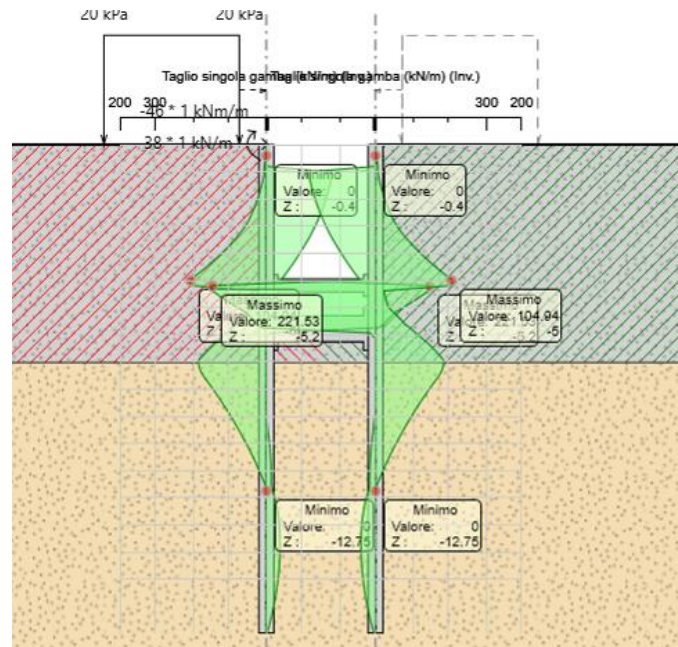


Figura 42: Diagramma del taglio per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

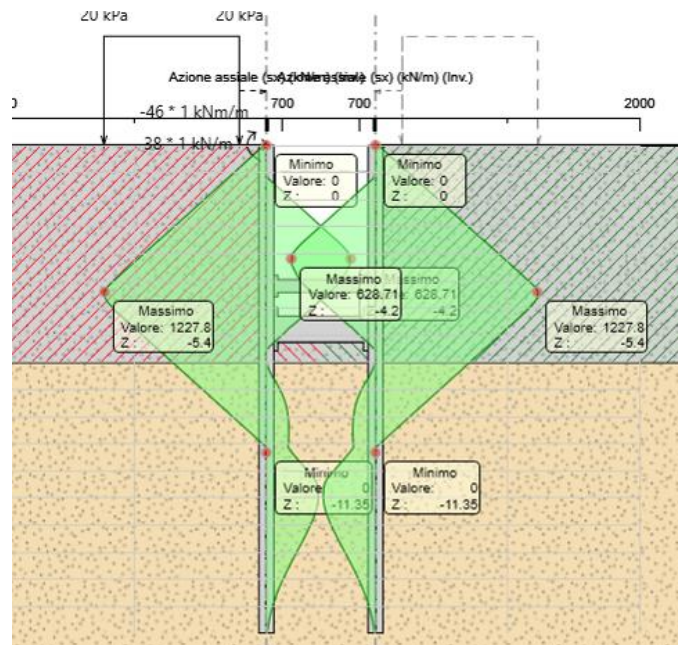
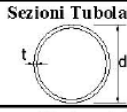


Figura 43: Diagramma dello sforzo assiale per condizione eccezionale di urto veicolo su parapetto

10.1 Verifiche di resistenza allo SLU dei micropali

Nelle verifiche di resistenza dei micropali si considera unicamente il contributo del tubolare in acciaio di armatura, trascurando quello del calcestruzzo, il quale contribuisce solamente alla stabilità della sezione.

Innanzitutto si determina la classe delle sezioni dei tubolari impiegati, secondo la seguente tabella.

Sezioni Tubolari						
						
Classe	Sezione inflessa e/o compressa					
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$ (Per $d/t > 90\epsilon^2$ vedere EN 1993-1-6)					
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

I tubolari impiegati sono i seguenti:

$$\phi 139.7 \times 12 : \quad d/t = 11.6 < 50 \cdot \epsilon^2 = 32.8 \quad \text{CLASSE 1}$$

$$\phi 163.2 \times 12 : \quad d/t = 13.6 < 50 \cdot \epsilon^2 = 32.8 \quad \text{CLASSE 1}$$

Dato che entrambe le sezioni risultano in classe 1, è possibile attingere alla resistenza plastica dei tubolari. Per semplicità di calcolo e a favore di sicurezza si mantiene la verifica all'interno del campo elastico, tramite il criterio seguente:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed} \sigma_{x,Ed} + 3 \tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2$$

Dato che i tubolari sono contenuti all'interno del calcestruzzo che forma il micropalo, le verifiche si limitano alla resistenza della sezione, considerando le verifiche di stabilità implicitamente soddisfatte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA					
	RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0100003	REV. A

9.1.1. Tubolari $\phi 139.7 \times 12$

Si sintetizzano di seguito le sollecitazioni massime di progetto. Dato che nei diagrammi riportati nel capitolo precedente le sollecitazioni sono date al metro lineare di paratia, per ottenere le sollecitazioni agenti sul singolo palo si moltiplica il valore di output per l'interasse tra micropali, che per le paratie tipo 1 e 2 vale 0.25m. Si ha quindi:

$$N_{Ed} = 1004 \cdot 0.25 = 251 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 118 \cdot 0.25 = 30 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 113 \cdot 0.25 = 28 \text{ kN}$$

Per il tubolare in questione le caratteristiche di resistenza della sezione sono:

$$A = 4814 \text{ mm}^2 \quad W_{el} = 1.42 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad A_v = 2 \cdot A / \pi = 3065 \text{ mm}^2$$

Le tensioni massime sulla sezione sono:

$$\sigma_{x,Ed} = N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el} = 263 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = V_{Ed} / A_v = 9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = (\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)^{1/2} = 264 \text{ MPa} < f_{yd} = 338 \text{ MPa}$$

9.1.2. Tubolari $\phi 168.2 \times 12$

Si sintetizzano di seguito le sollecitazioni massime di progetto. Dato che nei diagrammi riportati nel capitolo precedente le sollecitazioni sono date al metro lineare di paratia, per ottenere le sollecitazioni agenti sul singolo palo si moltiplica il valore di output per l'interasse tra micropali, che per le paratie tipo 1 e 2 vale 0.25m. Si ha quindi:

$$N_{Ed} = 1230 \cdot 0.25 = 308 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 167 \cdot 0.25 = 38 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 222 \cdot 0.25 = 56 \text{ kN}$$

Per il tubolare in questione le caratteristiche di resistenza della sezione sono:

$$A = 5889 \text{ mm}^2 \quad W_{el} = 2.15 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad A_v = 2 \cdot A / \pi = 3749 \text{ mm}^2$$

Le tensioni massime sulla sezione sono:

$$\sigma_{x,Ed} = N_{Ed} / A + M_{Ed} / W_{el} = 229\text{MPa}$$

$$\tau_{Ed} = V_{Ed} / A_v = 15\text{MPa}$$

$$\sigma_{id} = (\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)^{1/2} = 230\text{MPa} < f_{yd} = 338\text{MPa}$$

10.2 Verifiche di resistenza e stabilità dei puntelli

Nelle paratie tipo 2, 3 e 4 è prevista una puntellazione provvisoria costituita da una trave HEA 200 ogni 4m.

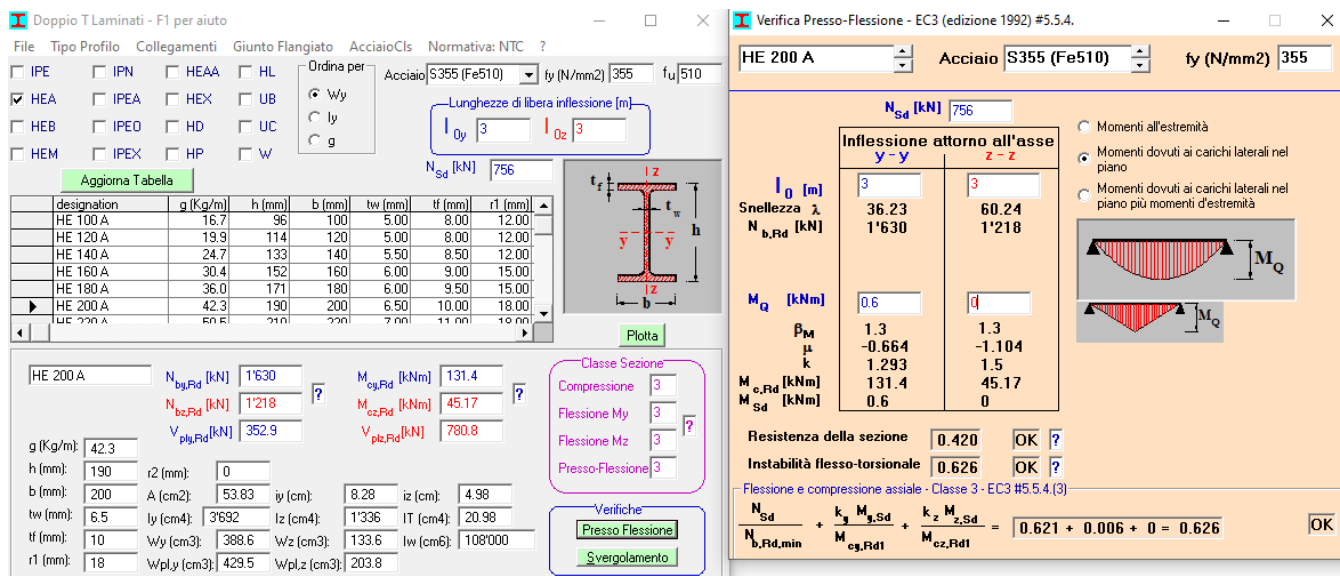
La massima compressione su un puntello, ricavata dalle reazioni riportate al §8, è pari a:

$$N_{Ed} = 189 \cdot 4 = 756\text{kN}$$

Mentre il momento agente sull'asta è quello dovuto unicamente al peso proprio del profilo, pari a 0.42kN/m:

$$M_{Ed} = 1.3 \cdot 0.42 \cdot 3^2 / 8 = 0.6\text{kNm}$$

Essendo 3m la massima distanza tra le paratie. La verifica a pressoflessione è condotta tramite il software Profili_V6.



The screenshot shows the 'Verifica Presso-Flessione - EC3 (edizione 1992) #5.5.4.' window. The input parameters are: HEA 200 A, Acciaio S355 (Fe510), fy (N/mm2) 355, N_{Sd} [kN] 756, and M_Q [kNm] 0.6. The results table shows: Snellezza λ (36.23, 60.24), N_{b,Rd} [kN] (1'630, 1'218), β_M (1.3, 1.3), μ (0.664, -1.104), k (1.293, 1.5), M_{e,Rd} [kNm] (131.4, 45.17), and M_{Sd} [kNm] (0.6, 0). The resistance of the section is 0.420 (OK) and the instability flexo-torsionale is 0.626 (OK). The final calculation is: $\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd,min}} + \frac{k_1 M_{y,Sd}}{M_{ey,Rd1}} + \frac{k_2 M_{z,Sd}}{M_{ez,Rd1}} = 0.621 + 0.006 + 0 = 0.626$ (OK).

10.3 Verifica della trave di coronamento

Dove è prevista la puntellazione provvisoria delle paratie, la trave di coronamento dei puntelli funge anche da trave di ripartizione. Lo schema adottato nel calcolo delle sollecitazioni è quello di trave continua con passo appoggi costante pari a 4m. A favore di sicurezza il momento flettente è calcolato sulla campata terminale.

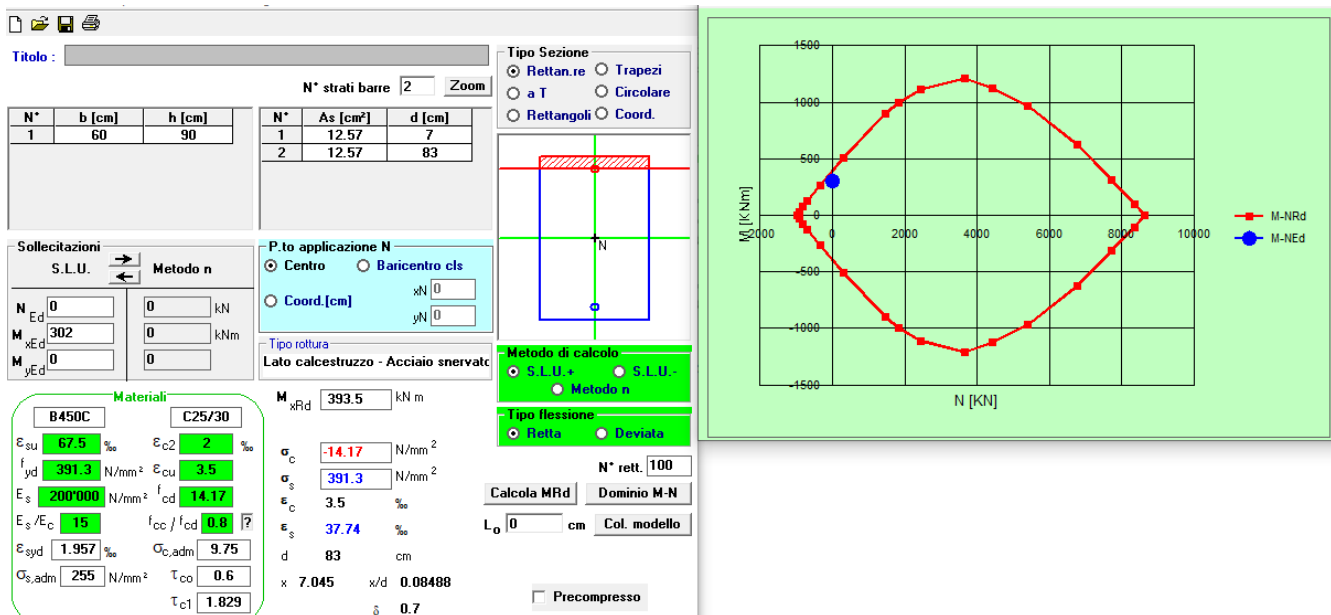
$$q = 189 \text{ kN/m}$$

$$M = q \cdot L^2 / 10 = 302 \text{ kNm}$$

$$V = q \cdot L / 2 = 378 \text{ kN}$$

Trattandosi di uno schema di calcolo valido solamente in fase transitoria, la verifica è condotta unicamente allo SLU, per la sezione con altezza minore. Si riporta l'output del software VCA SLU per la verifica a flessione.

Si dispongono 4 ϕ 20 longitudinali internamente ed esternamente.



La verifica a taglio è svolta con un apposito foglio di calcolo. Si dispongono 2 bracci ϕ 10/20cm.

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 600$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 900$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 72$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 29.05$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{s1,1} = 4$	$\emptyset 16$	$= 8.04 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{s1,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 828$	mm altezza utile	$A_{s1,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 16.46$	MPa resist. di calcolo			8.04 cm^2

• Sollecitazioni(compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 378.0 \text{ kN}$$

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.491 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.344$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$?_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad ?_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 149.0 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 170.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 170.7 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio

• Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

$$\theta = 45.0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 16 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2 \quad \text{passo } 20 \text{ cm} = 0.201 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 586.3 \text{ kN}$$

$$f'_{cd} = 8.23 \quad \text{MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1840.2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 586.3 > 378.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.6$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

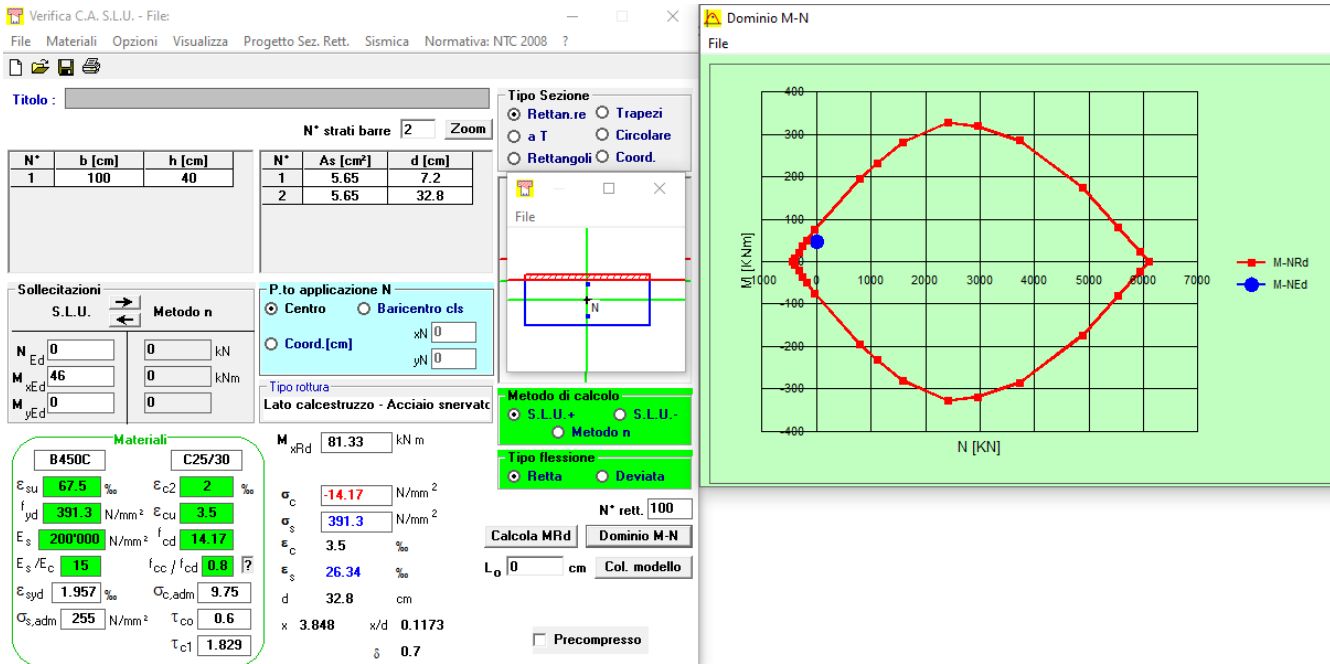
10.4 Verifica dei muri di parapetto

Come calcolato al §6.5, Il muro parapetto lato strada è soggetto, alla base, ad una la forza trasversale ed un flettente:

$$F_{ecc} = 38\text{kN/m} \quad M_{ecc} = 46\text{kNm/m}$$

La verifica in condizioni eccezionali è svolta quindi solamente allo SLU. Si riporta l'output del software VCA SLU per la verifica a flessione.

Si dispongono 5 ϕ 12/m internamente ed esternamente.



La verifica a taglio è svolta con un apposito foglio di calcolo. Si dispone l'armatura minima da normativa, in quanto non si evidenzia la necessità di un'armatura specifica.

• Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 400$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 72$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 29.05$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 12$	$= 5.65 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 328$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 16.46$	MPa resist. di calcolo			5.65 cm^2

• Sollecitazioni (compressione <0, trazione >0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0 \text{ kN}$ $V_{ed} = 38.0 \text{ kN}$

• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$ $k = 1.781 < 2$

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ $v_{min} = 0.448$

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$ $\rho_1 = 0.002 < 0.02$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$ $\sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$

$V_{Rd} = 119.9 \text{ kN}$; (con $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 147.0 \text{ kN}$)

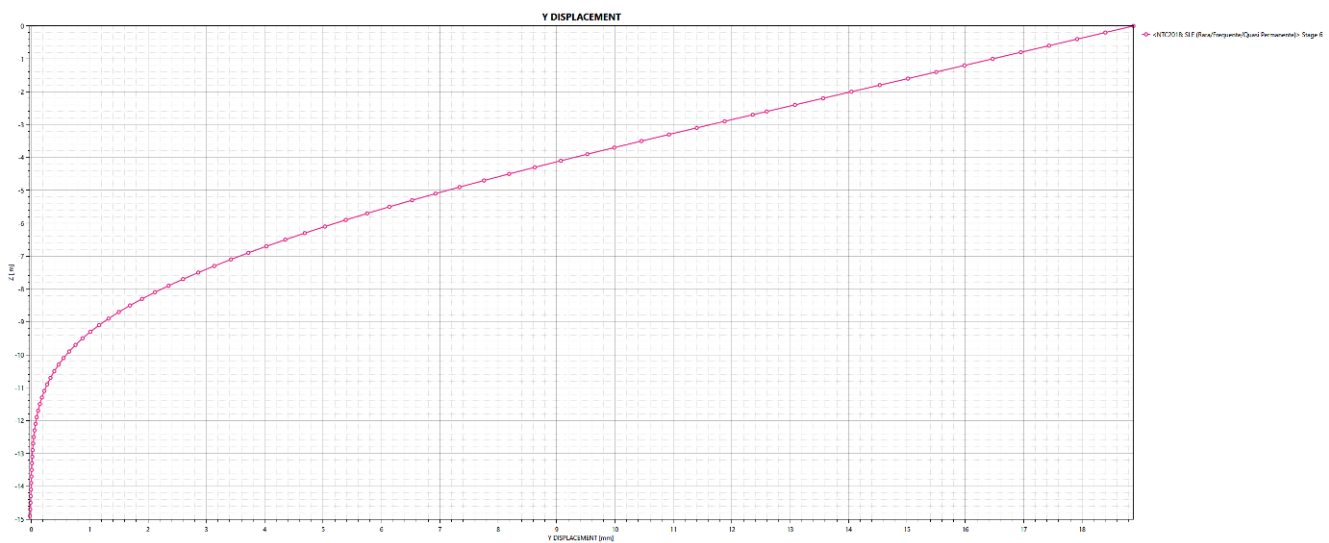
$V_{Rd} = 147.0 \text{ kN}$ assunto pari alla resistenza minima

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

10.5 Verifiche geotecniche in fase di esercizio (SLE)

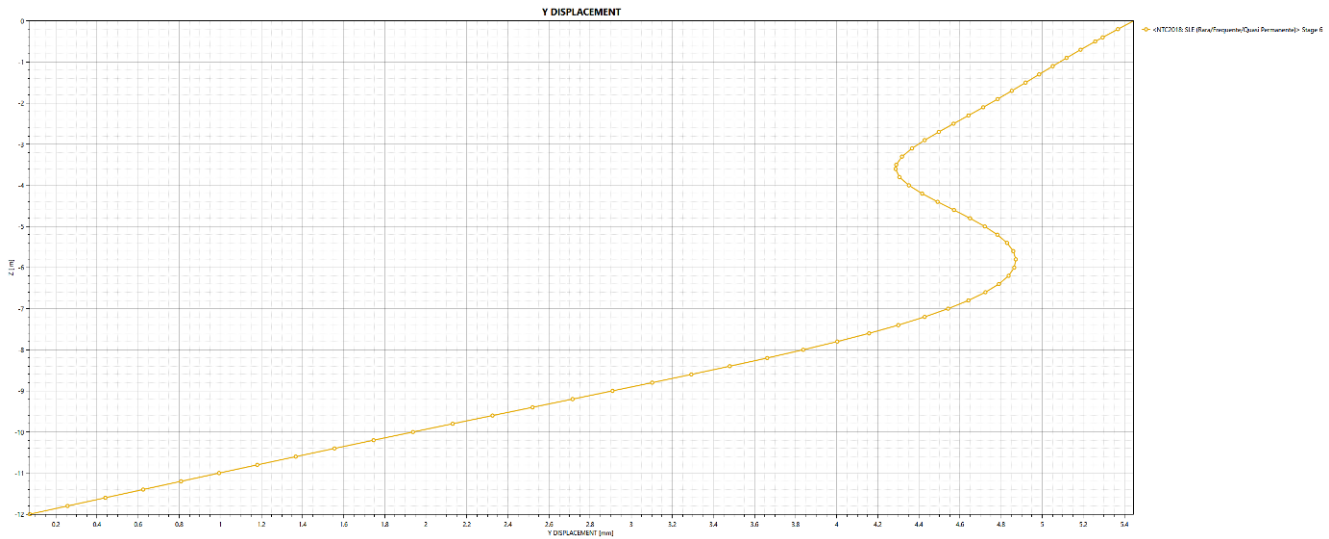
Si riportano i diagrammi dello spostamento orizzontale della paratia in fase di esercizio, in combinazione SLE rara.

Paratia tipo 1



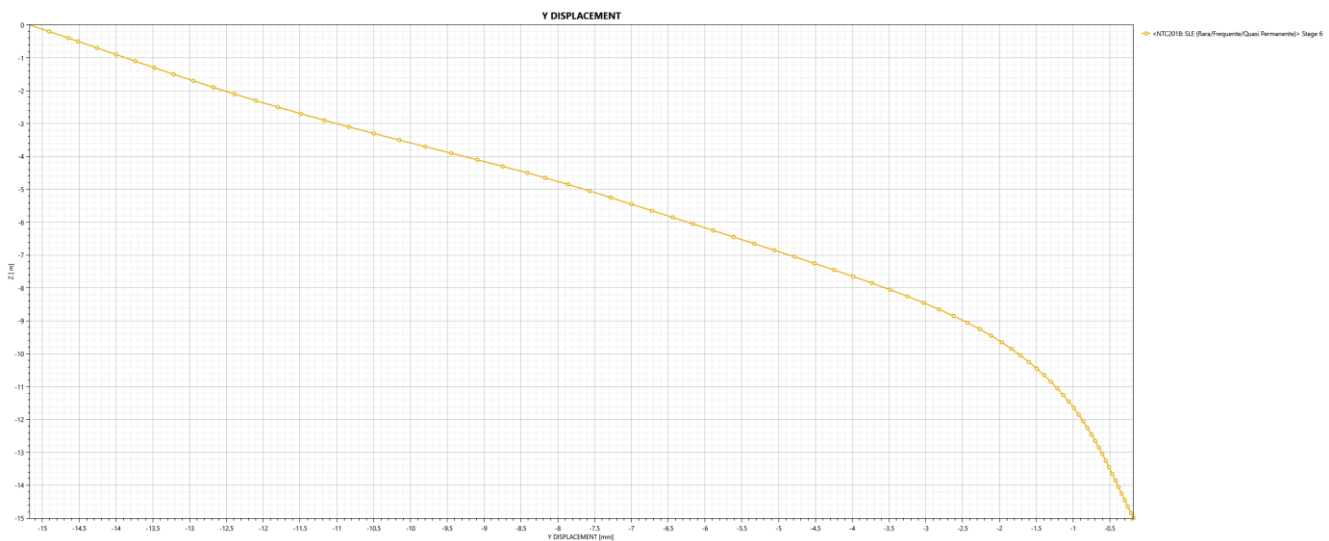
Il massimo spostamento orizzontale in fase di esercizio, risulta pari a 18.8mm che, con riferimento all'altezza totale dello scavo $H=2.8m$, è pari a $H/150$. Tale valore è quindi compatibile con la funzionalità dell'opera.

Paratia tipo 2



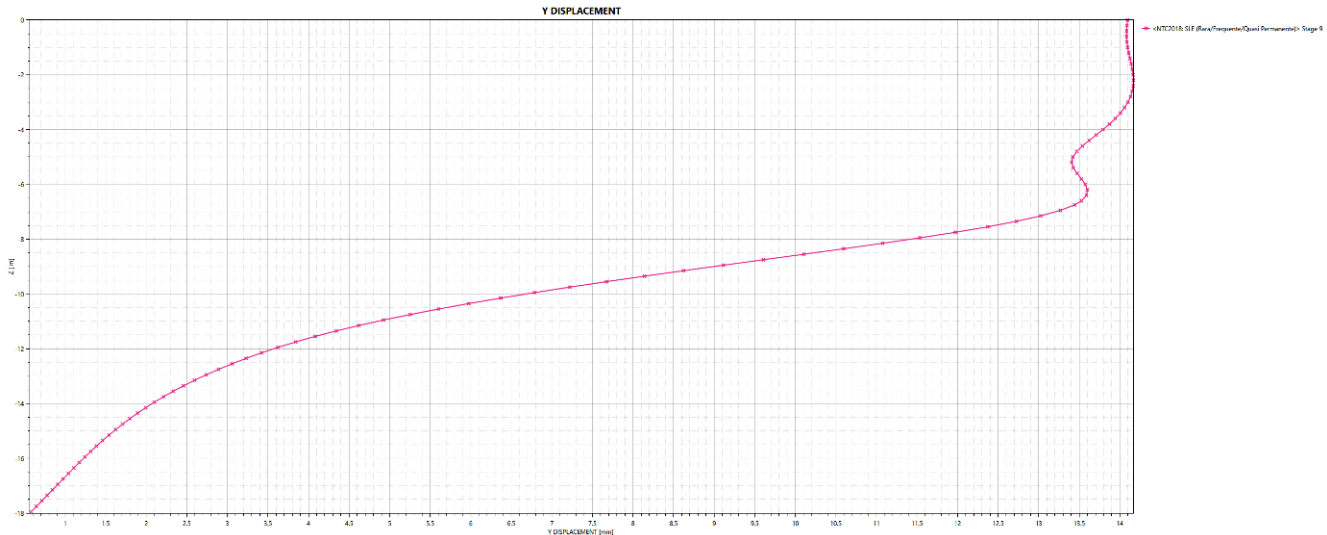
Il massimo spostamento orizzontale in fase di esercizio, risulta circa 5.5mm che, con riferimento all'altezza totale dello scavo $H=4m$, è pari a $H/727$. Tale valore è quindi compatibile con la funzionalità dell'opera e dei manufatti adiacenti.

Paratia tipo 3



Il massimo spostamento orizzontale in fase di esercizio, risulta circa 15.2mm che, con riferimento all'altezza totale dello scavo $H=5m$, è pari a $H/329$. Tale valore è quindi compatibile con la funzionalità dell'opera e dei manufatti adiacenti.

Paratia tipo 4



Il massimo spostamento orizzontale in fase di esercizio, risulta circa 14.2mm che, con riferimento all'altezza totale dello scavo $H=7.25m$, è pari a $H/510$. Tale valore è quindi compatibile con la funzionalità dell'opera.

11 CARICHI TRASMESSI AL MURO DI RIFODERA

Nel calcolo dei muri di rifodera delle rampe, condotto nella relazione NB1R02D26CLSL0100002A, a favore di sicurezza si tiene in considerazione delle deformazioni indotte dallo spostamento in sommità alla paratia. Per ragioni di calcolo, tale effetto è implementato applicando al muro una pressione che genera lo spostamento calcolato.

Lo spostamento in sommità alla paratia è ottenuto tramite i modelli utilizzati per il calcolo della stessa per tre condizioni di calcolo:

SPDPX: carichi permanenti a lungo termine

SPDAX: carichi accidentali a breve termine

SPDSX: carichi sismici a breve termine

Per ottenere la deformazione a lungo termine è stata creata una variante del modello di calcolo in cui, a seguito della fase finale di scarico, si ha una fase in cui si riduce il modulo elastico del calcestruzzo, per tenere conto della viscosità del calcestruzzo, secondo le prescrizioni da normativa, si ottiene:

$$E_{cm,\infty} = E_{cm}/[1+\varphi(t, \infty)] = 31447/(1+1.8) = 11231\text{MPa}$$

Il valore u_x è ottenuto sottraendo alla deformata totale per ciascuna di queste condizioni, la deformata in condizioni SLE quasi permanenti a breve termine.

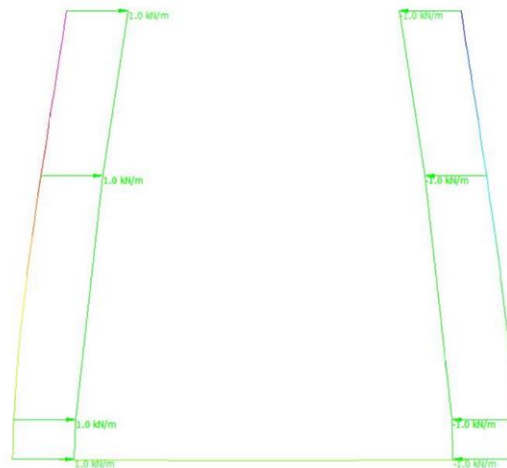
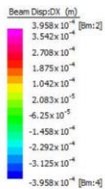
A titolo di esempio, si riportano in forma tabellare gli spostamenti in testa al muro calcolati per la paratia in corrispondenza dei muri a U tipo 1 :

	SPDPX Δx permanenti	SPDAX Δx accidentali	SPDSX Δx sisma
u_x [mm]	3.88	1.49	2.91

Si riduce del 20% tale spostamento, tenendo conto della presenza di uno strato di polistirolo frapposto tra i micropali e la rifodera, che si deformerà nel trasmettere la pressione tra gli elementi. Risulta quindi:

	SPDPX Δx permanenti	SPDAX Δx accidentali	SPDSX Δx sisma
$U_{80\%}$ [mm]	3.10	1.19	2.91

Per il calcolo della pressione equivalente si è agito iterativamente, applicando alle pareti verticali del modello una pressione di 1.0kN/m^2 . Letta la deformazione in testa al muro generata da tale pressione, si è proceduto a ricavare la pressione necessaria a generare gli spostamenti desiderati per proporzionalità.



Le pressioni risultanti sono quindi le seguenti:

	SPDPX Δx permanenti	SPDAX Δx accidentali	SPDSX Δx sisma
p [kN/m]	7.83	3.00	7.35



PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO
APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA
LINEA DA CURNO A BERGAMO
SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA

RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	02	D 26	CLSL0100003	A	57 di 58

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO SL01 – SOTTOVIA CICLOPEDONALE DI VIA ROMA												
RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>02</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0100003</td> <td>A</td> <td>58 di 58</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	02	D 26	CLSL0100003	A	58 di 58
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	02	D 26	CLSL0100003	A	58 di 58								

12 INCIDENZE DELLE ARMATURE

Per le paratie di micropali l'incidenza dell'acciaio da carpenteria è computata per unità di superficie:

- paratia tipo 1 302kg/m²
- paratia tipo 2 302kg/m²
- paratia tipo 3 302kg/m²
- paratia tipo 4 370kg/m²

Per i cordoli ed i muretti parapetto, si prevedono i seguenti valori di incidenza delle armature:

- cordolo di coronamento 56kg/m³
- muro parapetto lato strada 45kg/m³
- muro parapetto lato marciapiede 75kg/m³