

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i.

S.O. Corpo Stradale

PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI BARI

BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE

MURI ED OPERE DI PRESIDIO

MU20 - PARATIA di protezione della viabilità NV05A

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

IADR 00 D 29 CL MU2000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione PD per AI	M.Botta <i>M. Botta</i>	SETT '23	A.Santacaterina, A.DiCostanzo <i>A. Santacaterina</i> <i>A. Di Costanzo</i>	SETT '23	G.Dimaggio <i>G. Dimaggio</i>	SETT '23	F.ARDUINI 29/09/2023

File: IADR00D29CLMU2000001A

n. Elab.:



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
 PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
 NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	2 di 46

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE	6
3	SCOPO DEL DOCUMENTO	9
3.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	10
4	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	12
4.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	12
4.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	12
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	13
5.1	CALCESTRUZZO	13
5.2	ACCIAIO	14
5.2.1	Acciaio per cemento armato	14
5.2.2	Acciaio per tubolari	Errore. Il segnalibro non è definito.
6	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	15
7	CRITERI DI VERIFICA PARATIE	17
7.1	VERIFICHE SLU	17
7.2	VERIFICHE SLE	17
8	ANALISI DEI CARICHI	18
8.1	SPINTA DEL TERRENO	18
8.2	CARICHI PERMANENTI	19
8.3	SOVRACCARICHI ACCIDENTALI	19
8.4	AZIONE SISMICA	19
9	COMBINAZIONI DI CARICO	20
10	MODELLI DI CALCOLO	22
11	MODELLO 1 – SEZIONE 3-3	23



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
 PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
 NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	3 di 46

11.1	FASI DI CALCOLO	23
11.2	RISULTATI.....	26
11.2.1	<i>Mobilizzazione della spinta passiva</i>	26
11.2.2	<i>Sollecitazioni</i>	28
11.2.3	<i>Verifica a stabilità globale del complesso opera-terreno</i>	31
11.3	VERIFICHE STRUTTURALI	34
12	MODELLO 2 – SEZIONE 2-2	36
12.1	FASI DI CALCOLO	36
12.2	RISULTATI.....	40
12.2.1	<i>Mobilizzazione della spinta passiva</i>	40
12.2.2	<i>Sollecitazioni</i>	42
12.3	VERIFICHE STRUTTURALI	45



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	4 di 46

1 PREMESSA

La linea ferroviaria Foggia – Bari attraversa a raso il territorio comunale di Bari nelle località Palese e Santo Spirito. La direttrice adriatica determina quindi una interruzione del tessuto urbano, con presenza di numerosi passaggi a livello, apportando pesanti ripercussioni sulla mobilità e sulla sicurezza degli abitanti.

Il progetto definitivo del “Nodo di Bari: Bari Nord - Variante di tracciato tra Santo Spirito e Palese” è parte di un più vasto complesso progettuale relativo all’evoluzione del Nodo ferroviario di Bari, volto alla razionalizzazione, riorganizzazione e ad un generale miglioramento del trasporto ferroviario, attraverso un organico inserimento delle reti ferroviarie nel territorio urbano della città di Bari e una riqualificazione urbanistica delle aree dismesse.

Nel dicembre 2005 il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, la Regione Puglia, il Comune di Bari e Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. siglarono un “Protocollo d’Intesa per il riassetto del nodo di Bari” finalizzato alla individuazione delle più efficaci soluzioni trasportistiche che rispondessero alle esigenze di riqualificazione urbana e di sviluppo economico del territorio al fine di perseguire i seguenti obiettivi:

- Riduzione delle interferenze tra le linee ferroviarie ed il territorio comunale;
- Realizzazione di un sistema di trasporto integrato, intermodale e intramodale a elevata frequenza;
- Aumento della qualità dei servizi di trasporto offerti con riduzione dei tempi di percorrenza e aumento dei punti di accesso alla modalità ferroviaria;
- Recupero, riqualificazione e valorizzazione delle aree ferroviarie dismesse e da dismettere;
- Abbattimento dei livelli di inquinamento acustico ed atmosferico nelle aree della città di Bari.

A seguito di tale Protocollo e del “Tavolo Tecnico” istituito dalla Regione Puglia, furono sviluppati uno studio di pre-fattibilità e successivamente uno studio di fattibilità.



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	5 di 46

Il progetto preliminare del Riassetto del Nodo di Bari sviluppato a seguito delle analisi sullo studio di fattibilità è stato assentito con Conferenza di Servizi Istruttoria indetta dalla Regione Puglia ai sensi dell'art. 14-bis della legge 241/1990 e approvato con verbale di CdS del 25 maggio 2009.

Il presente Progetto Definitivo del “Nodo di Bari: Bari Nord - Variante di tracciato tra Santo Spirito e Palese” è stato dunque sviluppato come soluzione di variante al Progetto Preliminare del 2009 oggetto di Parere VIA e sulla base delle prescrizioni e pareri ricevuti in fase di iter autorizzatorio del Progetto Preliminare del 2021.

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	6 di 46

2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area interessata dal progetto ricade nella zona a nord - ovest della città di Bari, nell'area compresa tra l'aeroporto internazionale di Bari e il comune di Giovinazzo.

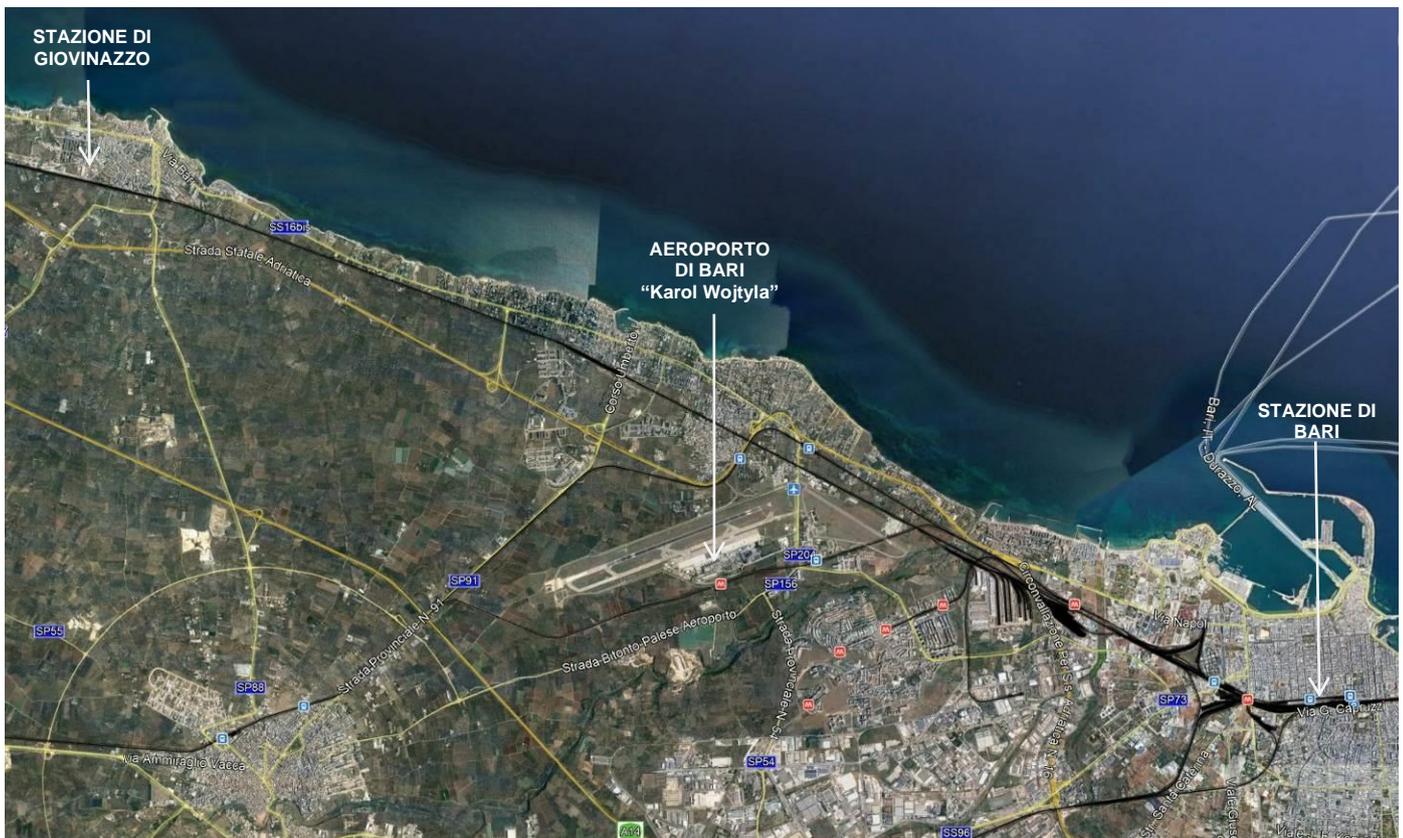


Figura 2-1 Inquadramento area di intervento

Il tracciato ferroviario è sviluppato tenendo conto dei seguenti input:

- $V_c = 200$ km/h ($V_t = 180$ km/h)
- Nuova stazione con marciapiede ad isola da 250m e modulo di precedenza 750

La nuova linea ha origine dopo Giovinazzo, all'incirca al km 632+000 della linea Adriatica, da dove sfiocca verso sud-est e prosegue in corretto tracciato per circa un chilometro mantenendosi pressoché a quota piano campagna.

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	7 di 46

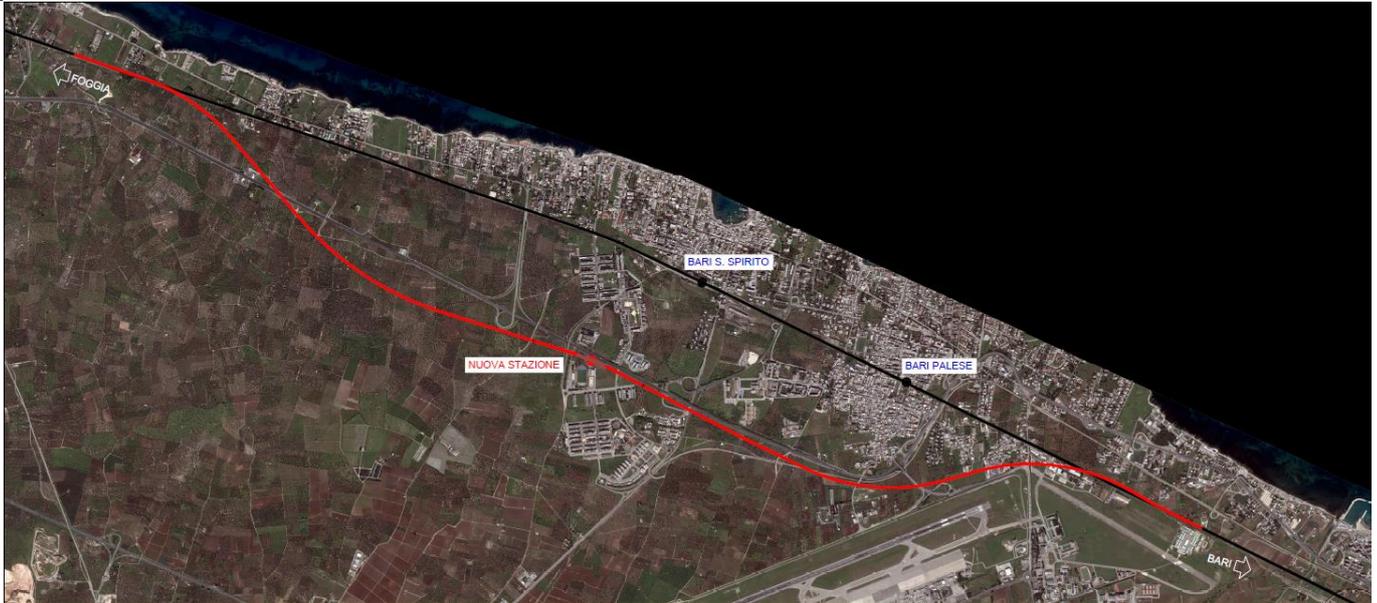


Figura 2-2 Tracciato Rosso

La variante di tracciato si sviluppa quasi nella sua interezza sotto il piano campagna, i primi 1.300 m circa si sviluppano quasi al piano campagna per poi iniziare a perdere quota fino ad entrare in galleria artificiale. L'opera ha uno sviluppo complessivo di circa 3 km e consente il sottoattraversamento della Strada Statale n. 16 e dei successivi assi viari.

Dopo circa 4,8 km il tracciato prosegue a cielo aperto, in trincea profonda, dove viene realizzato il nuovo impianto di stazione di S.Spirito – Enzitetto, costituito da due marciapiedi ad isola da 250m, ai quali si accede attraverso un sistema di scale mobili e ascensori che conducono al fabbricato di stazione posto al piano campagna. L'impianto di stazione garantisce sia per i binari di corsa sia per i binari di precedenza un modulo di 750m.

La trincea è interrotta da una galleria artificiale necessaria a creare aree a verde attrezzate, a servizio della nuova stazione, e a risolvere l'interferenza con via Nicholas Green.

In uscita dall'impianto di stazione il tracciato inizia a salire e prosegue in galleria artificiale verso sud-est parallelamente alla SS16, sotto attraversando la rampa di svincolo della statale e la SP91.



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	8 di 46

Dopo un tratto allo scoperto, il tracciato entra nuovamente in galleria artificiale al km 6+625, così da consentire in sottoattraversamento di strada di Torre Bregiola e della linea ferroviaria Bari-Bitonto via Palese, gestita dalle Ferrovie del Nord Barese.

Dopo aver sotto-attraversato via Modugno, il tracciato prosegue in direzione est sotto attraversando la Strada provinciale n 201.

Al fine di evitare interferenze con l'aeroporto internazionale di Bari "Karol Wojtyla" il tracciato piega verso nord-est risolvendo l'interferenza della rotatoria di collegamento tra la SP201 e la SP204 in galleria, per proseguire nell'area dell'aeroporto militare Bari Palese.

Superata l'area militare la livelletta inizia a prendere quota uscendo allo scoperto al km 9+780 ca e proseguendo in trincea fino a riallacciarsi sul sedime della linea storica in corrispondenza del km 642+537.

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	9 di 46

3 SCOPO DEL DOCUMENTO

Contestualmente alla Progettazione Definitiva del “Nodo di Bari: Bari Nord – Variante di tracciato tra Santo Spirito e Palese” è prevista la realizzazione di una paratia di micropali a protezione della viabilità NV05A, adiacente alla pista ciclabile in prossimità della stazione (pk 4+850 – 5+100).

Scopo della presente relazione è il dimensionamento e la verifica delle opere di sostegno in esame.

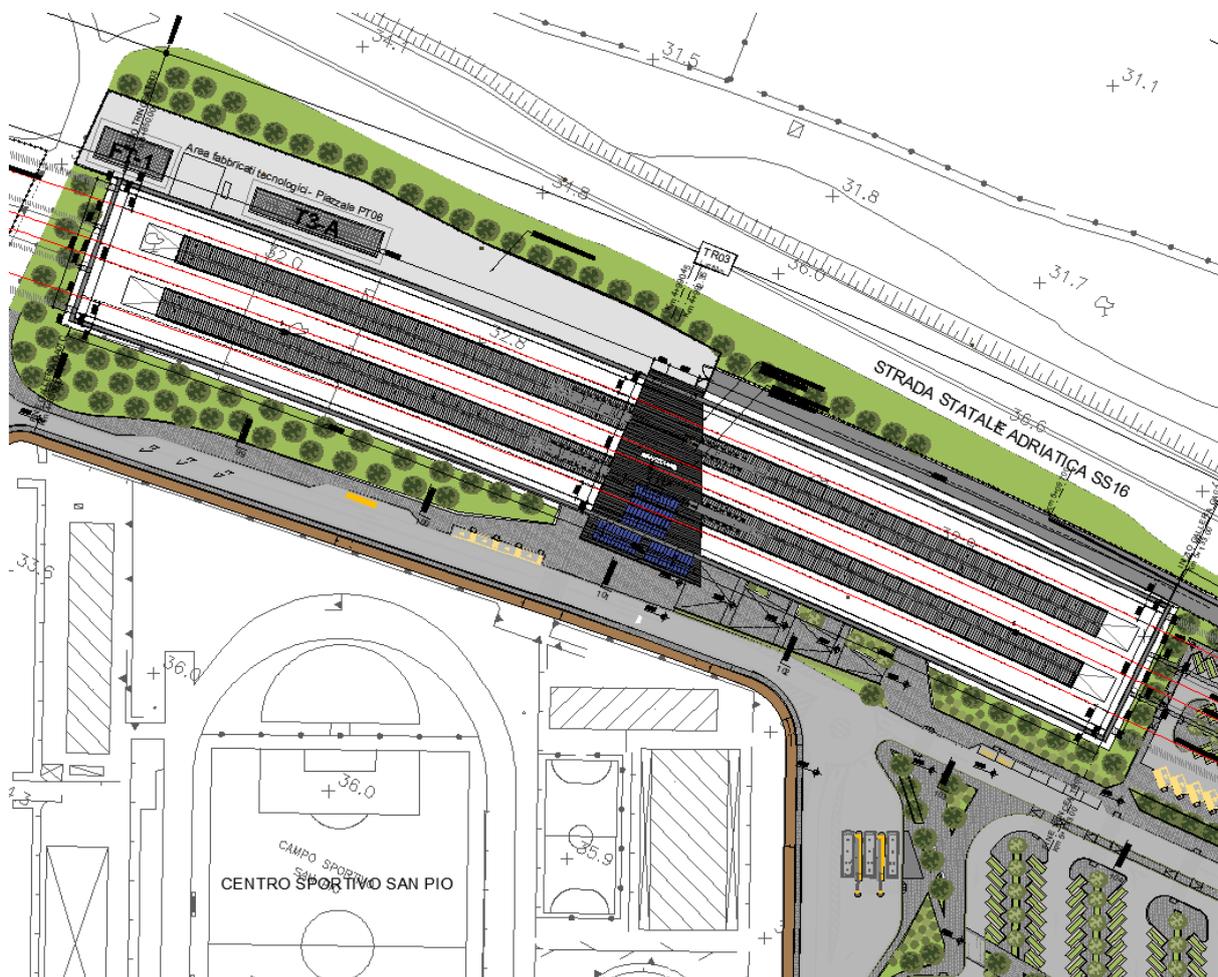


Figura 3-1: estratto planimetria di progetto

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	10 di 46

3.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La paratia MU20 in oggetto è realizzata in corrispondenza della pista ciclabile in prossimità della stazione (pk 4+850 – 5+100). La lunghezza del tratto interessato è di circa 200m e per circa la metà della sua estensione, la paratia si trova sia a destra che a sinistra della pista.

L'allineamento di paratia in sinistra è realizzato a protezione della viabilità NV05A, mentre quello in destra a protezione del muro esistente di recinzione dell'impianto sportivo.

È costituita da micropali con diametro di perforazione $\varnothing 300$ posti ad interasse di 40 cm collegati tra di loro tramite cordolo di sommità, armati con tubolari $\varnothing 219.1$ di spessore 12 mm di lunghezza pari a 6m o 8m, in base alle differenti quote di scavo.

Si riportano di seguito le sezioni di calcolo di riferimento per la verifica delle paratie.

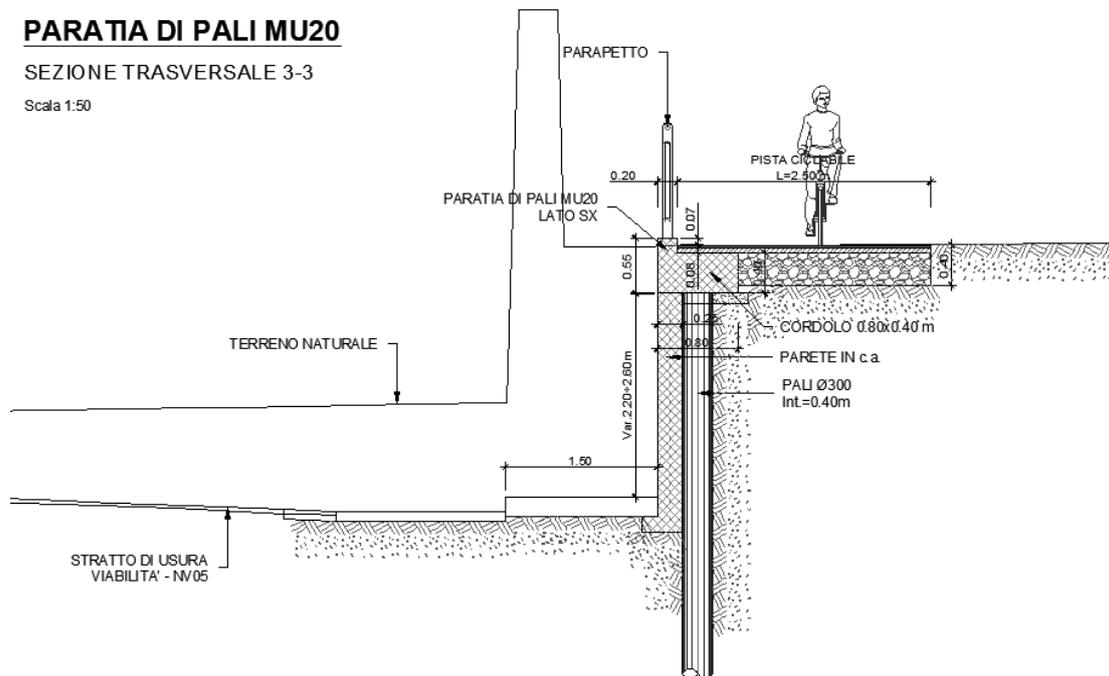


Figura 3-2: MU20 – sezione trasversale 3-3 – modello 1



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	12 di 46

4 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [3] RFI DTC SI MA IFS 001 F del 31.12.2022 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [4] RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [5] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [6] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

4.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Si faccia riferimento all’elenco elaborati allegato.

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	13 di 46

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel presente capitolo vengono riportate le principali caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione delle strutture.

5.1 CALCESTRUZZO

5.1.1 Calcestruzzo micropali

- Classe di resistenza C25/30
- Classe minima di consistenza S4
- Classe di esposizione ambientale XC2
- Copriferro 60 mm
- $R_{ck} = 30$ MPa Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9$ N/mm² Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cd} / \gamma_c = 14.11$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $E_{cm} = 31447.2$ N/mm² Modulo elastico del calcestruzzo

5.1.2 Calcestruzzo cordolo

- Classe di resistenza C32/40
- Classe minima di consistenza S4
- Classe di esposizione ambientale XC3, XS1
- Copriferro 50 mm
- $R_{ck} = 40$ MPa Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.2$ N/mm² Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cd} / \gamma_c = 18.81$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $E_{cm} = 33642.8$ N/mm² Modulo elastico del calcestruzzo



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	14 di 46

5.2 ACCIAIO

5.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- acciaio B450C
- tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
- resistenza di calcolo a trazione $f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$
- modulo elastico $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

5.2.2 Acciaio per tubolari micropali

- acciaio S275
- tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
- resistenza di calcolo a trazione $f_{yd} = 261.90 \text{ N/mm}^2$
- modulo elastico $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

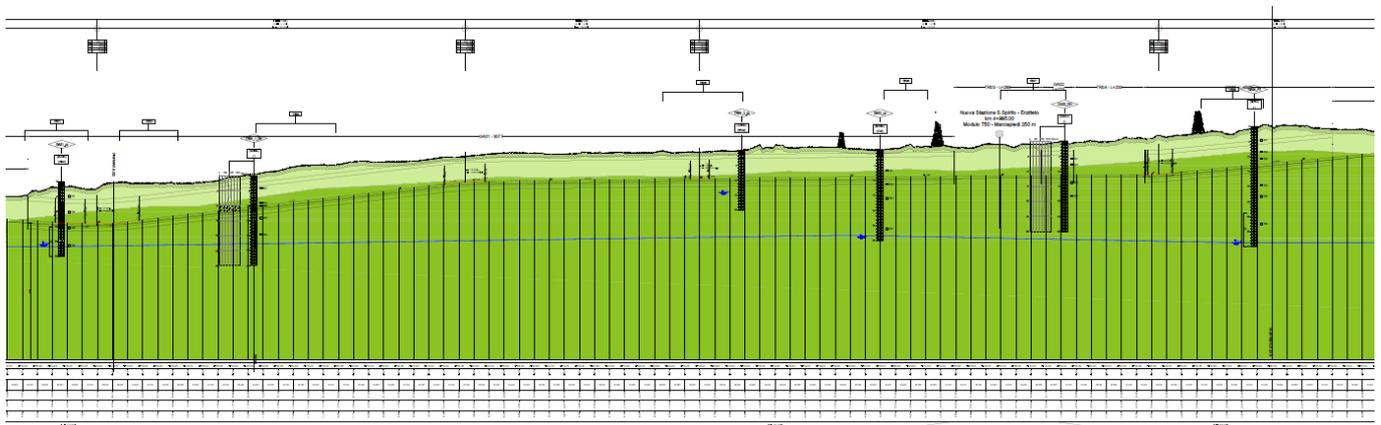
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	15 di 46

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico, allegati al presente progetto e ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire uno stralcio del citato profilo in cui ricade l'opera qui esaminata e la tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo.

Unità Geotecnica	γ	φ'	c'	GSI	σ_{ci}	m_i	E_{op}	k
	(kN/m ³)	(°)	(kPa)					
TC	19.0	29	2.5				10	
CAL Calt	20.0	36	5				50	1E-03 ÷ 1E-05
C1a (da inizio a 5+000 da 8+000 a fine)	24.0	43	40	30	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-6
C1b (da 5+500 a 8+000)	24.0	41	20	20	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-6
C2	24.0	43	100	35	70	9	1000	1E-04 ÷ 1E-6

La falda si trova ad una quota di circa 1 m s.l.m. e non interferisce con le opere in progetto.



MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	16 di 46

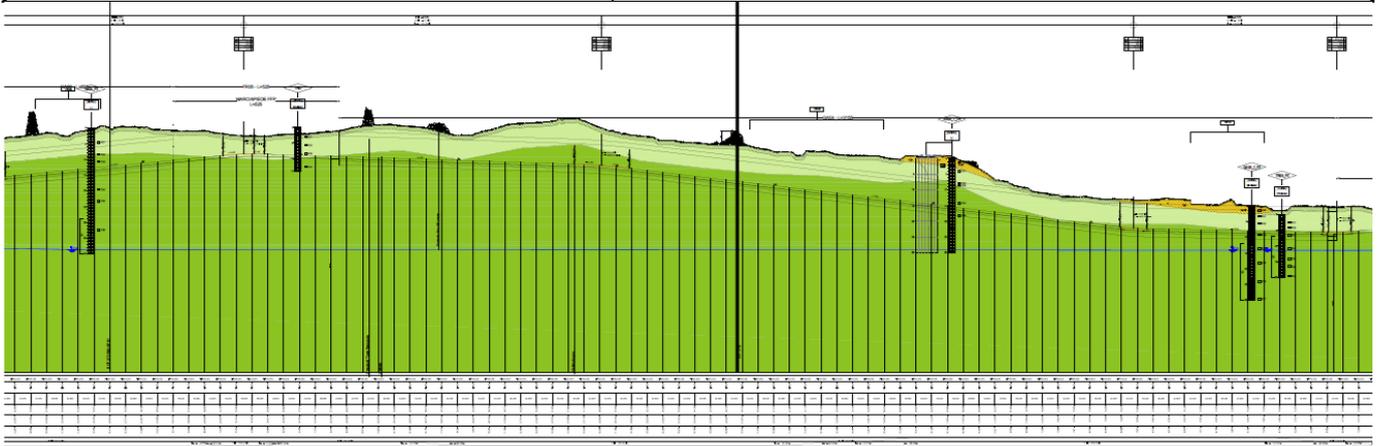


Figura 6-1: profilo geotecnico

Nei modelli di calcolo sono state analizzate le seguenti stratigrafie.

Modello 1

Unità Geotecnica	Profondità da p.c.	
	da (m)	a (m)
TC	0	-1.5
Calt	-1.5	-2.5
C1b	-2.5	-9.0
C2	-9.0	-

Modello 2

Unità Geotecnica	Profondità da p.c.	
	da (m)	a (m)
TC	0	-2.0
Calt	-2.0	-3.0
C1b	-3.0	-9.5
C2	-9.5	-



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	17 di 46

7 CRITERI DI VERIFICA PARATIE

7.1 VERIFICHE SLU

Le verifiche delle paratie sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1), mentre per le verifiche strutturali l'analisi è stata condotta con la combinazione 1 (A1+M1+R1). È stata altresì considerato anche il caso sismico.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus, un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da una paratia e permette di valutare il comportamento delle pareti durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Al fine di rispettare le richieste della Normativa in merito al modello geometrico di riferimento (§6.5.2.2 DM 17/01/2018) nel caso di opere in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle è diminuita della quantità prevista, per opere vincolate:

$$\Delta h = \min (0.5; 10\% \Delta t)$$

in cui Δt è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

La verifica strutturale è stata condotta in maniera speditiva, per assicurarsi il corretto funzionamento dell'elemento strutturale. Tali verifiche sono cautelative e conservative, in quanto non si è considerato il contributo delle pareti interne.

7.2 VERIFICHE SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo E_d e C_d rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, dovranno essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti.



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	18 di 46

8 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo dell'opera, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

8.1 SPINTA DEL TERRENO

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie Plus, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace φ' , e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_{0,NC} \cdot (OCR)^m$$

Dove

- $K_{0,NC} = 1 - \text{sen } \varphi'$ è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$),
- OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$K_a = \tan^2(45 - \varphi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \varphi'/2)$$



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	19 di 46

8.2 CARICHI PERMANENTI

Il carico permanente considerato nel modello di calcolo 2 è quello dovuto al peso del muro esistente a monte della paratia, caratterizzato da uno spessore di 20 cm ed un peso pari a 25 kN/m³.

8.3 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

I carichi accidentali considerati nel calcolo sono quelli derivanti dallo schema di “folla compatta”: si assume quindi un valore di 5 kN/m²

8.4 AZIONE SISMICA

Per l’opera in esame si è considerata una vita nominale di 75 anni e una classe d’uso III, con C_U = 1.5, pertanto si ottiene una vita di riferimento pari a V_R = 112.5 anni.

Considerando una Categoria di sottosuolo E e una categoria topografica pari a T1, si ottengono i seguenti parametri sismici $a_{max} = a_g \cdot S = 0.121 \cdot 1.6 = 0.194 g$.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla sola configurazione finale dell’opera. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari all’unità. Si adotta il metodo pseudo-statico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$$

In cui α è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l’opera e β è un coefficiente funzione della capacità dell’opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Considerando l’opera come struttura che non ammette spostamenti, l’incremento di spinta del terreno dovuto all’azione sismica è stato calcolato attraverso la trattazione di Wood valida per pareti che accettano piccoli spostamenti e come una sollecitazione uniformemente distribuita:

$$\Delta F_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H^2$$

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	20 di 46

9 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
 - Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
 - Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
 - Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
 - Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
 - Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]
- Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:
- $$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$
- [2.5.7]

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R (relativi alle resistenze dei pali), nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI e 6.2.II che vengono riportate nel seguito.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	21 di 46

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	g_{F1}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	g_{F2}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	g_{F3}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g_{F4}	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	22 di 46

10 MODELLI DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o inserimento degli elementi di contrasto) è opportuno l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Allo scopo si impiega il programma di calcolo "PARATIEPLUS" v.23.0 della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione). Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva. Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

Con tale metodo, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di fornire informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.

I parametri che caratterizzano il modello, dunque possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno che compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	23 di 46

11 MODELLO 1 – sezione 3-3

La paratia è costituita da micropali con diametro di perforazione di 300 mm ad interasse 0.40 m di lunghezza 7.70 m, armati con tubolari Ø219.1 di spessore 12 mm e lunghezza 8 m.

Geometria e materiali

Sezione personalizzata

Materiale Inerzia m⁴/m Area m²/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale C25/30

Spessore Ct 1 m

Diametro Cd 0.3 m

Passo Cs 0.4 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidità [0-1] ac 1

Acciaio

Materiale S275

Profilo CHS219.1*12

Passo Ss 0.4 m

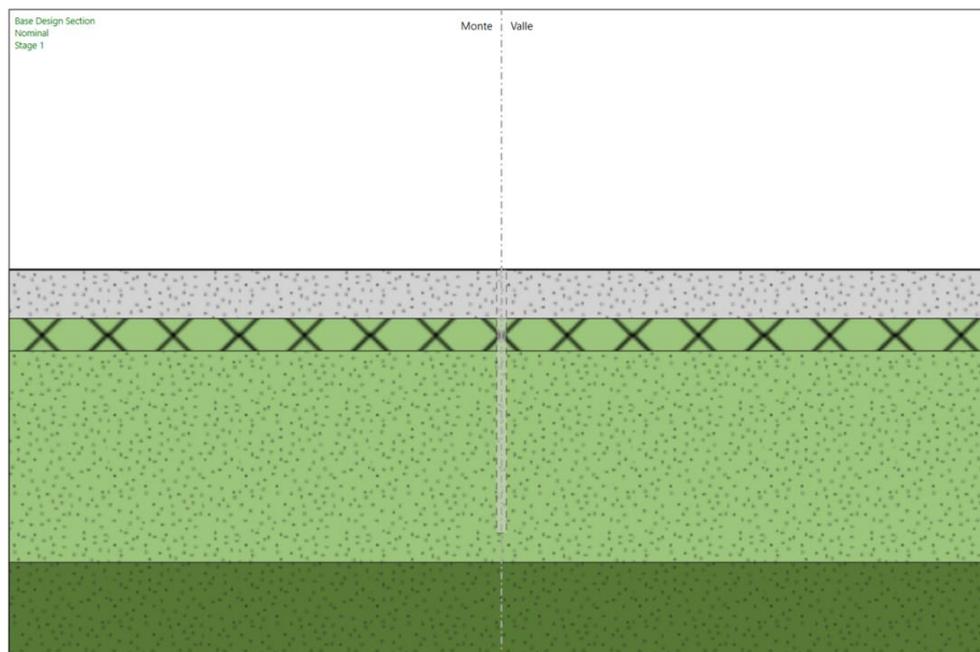
Diametro Sod 0.2191 m

Spessore Sot 0.012 m

11.1 FASI DI CALCOLO

Nel presente paragrafo vengono brevemente descritte e indicate in forma grafica le fasi assunte nel calcolo, nella fattispecie gli step prevedono:

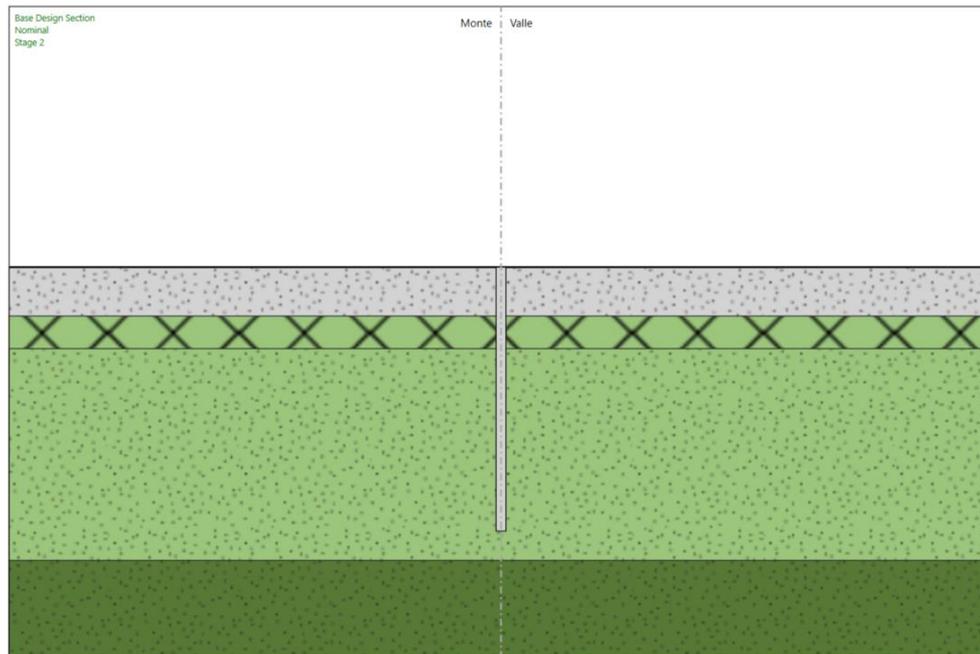
- 1) Condizione iniziale;



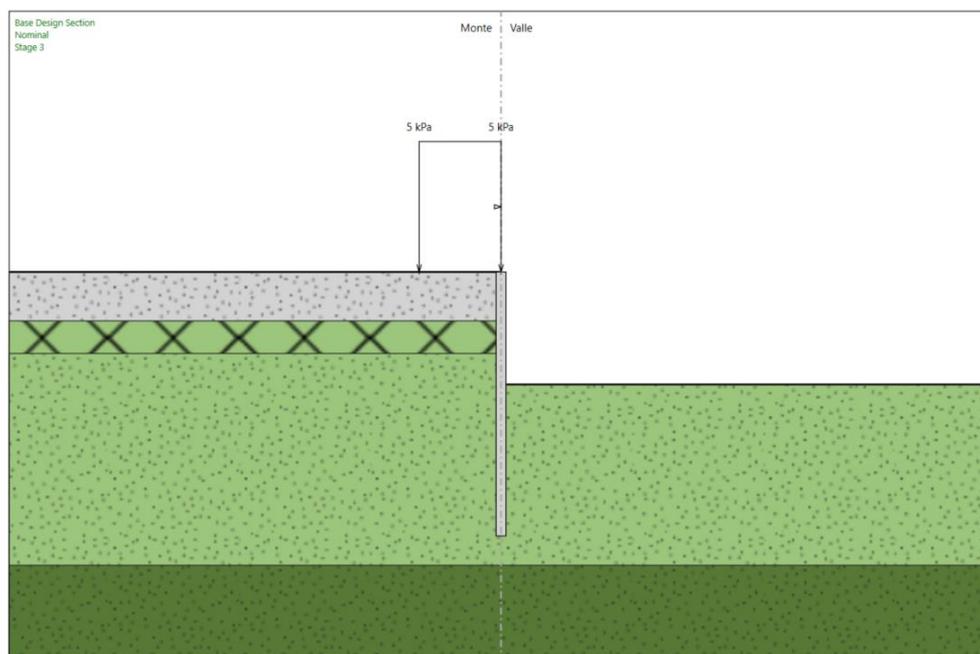
MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	24 di 46

2) Realizzazione dei micropali di lunghezza pari a 7.7m e diametro di perforazione 300mm;



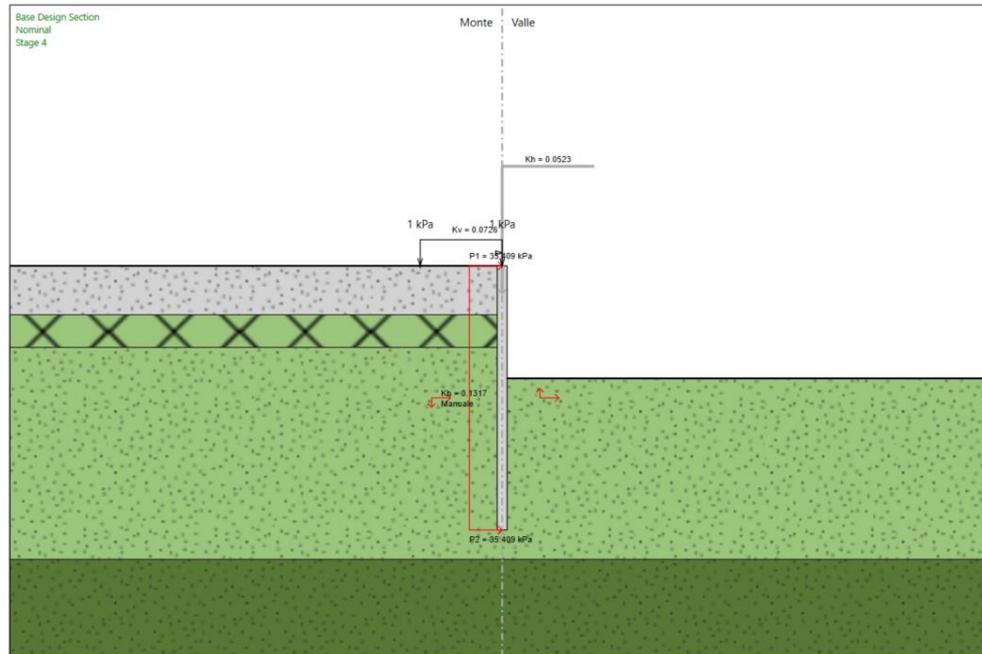
3) Esecuzione scavo fino a quota $z=-3.45\text{m}$ ($3.15\text{m} + \min [0.5; 10\%\Delta t]$) e applicazione del carico accidentale da folla compatta di 5kPa;



MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	25 di 46

4) Azione sismica.



MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

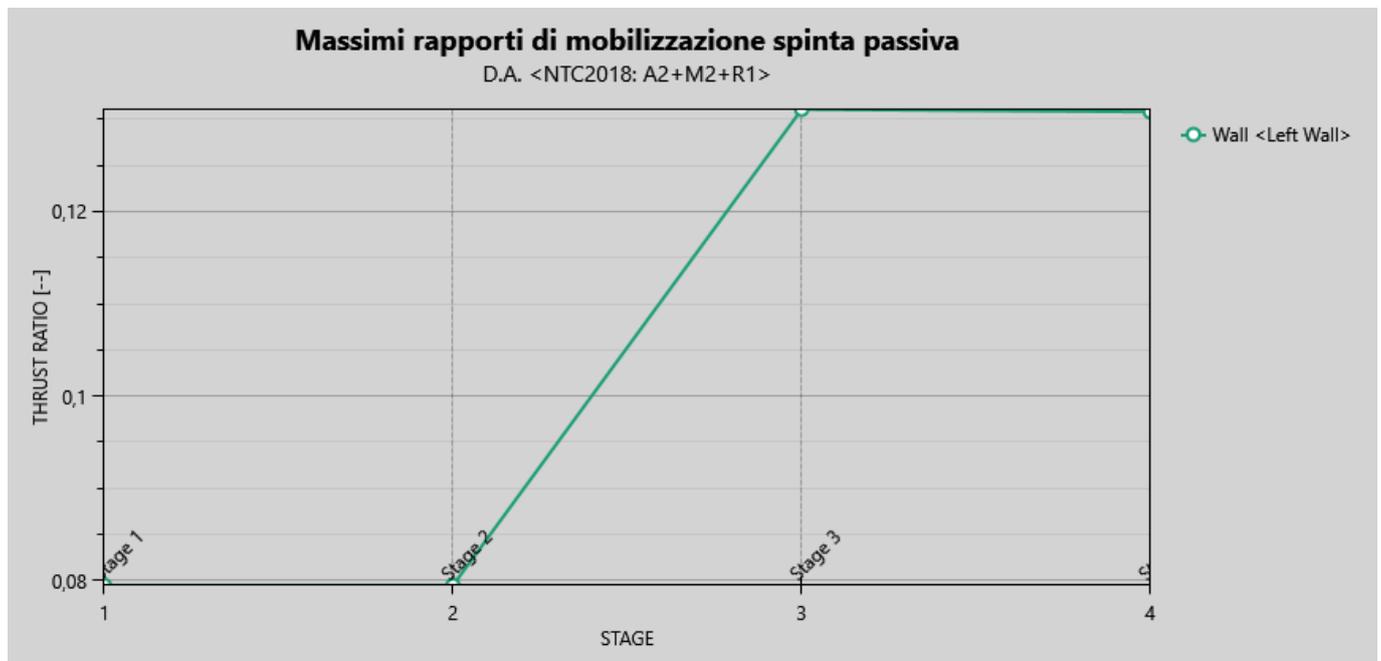
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	26 di 46

11.2 RISULTATI

11.2.1 Mobilitazione della spinta passiva

Di seguito si riporta il valore del grado di mobilitazione della resistenza passiva a valle dell'opera di sostegno per le combinazioni previste da Normativa (SLU-GEO). Il grado di mobilitazione risulta inferiore al 100%.

Combinazione A2+M2+R1:



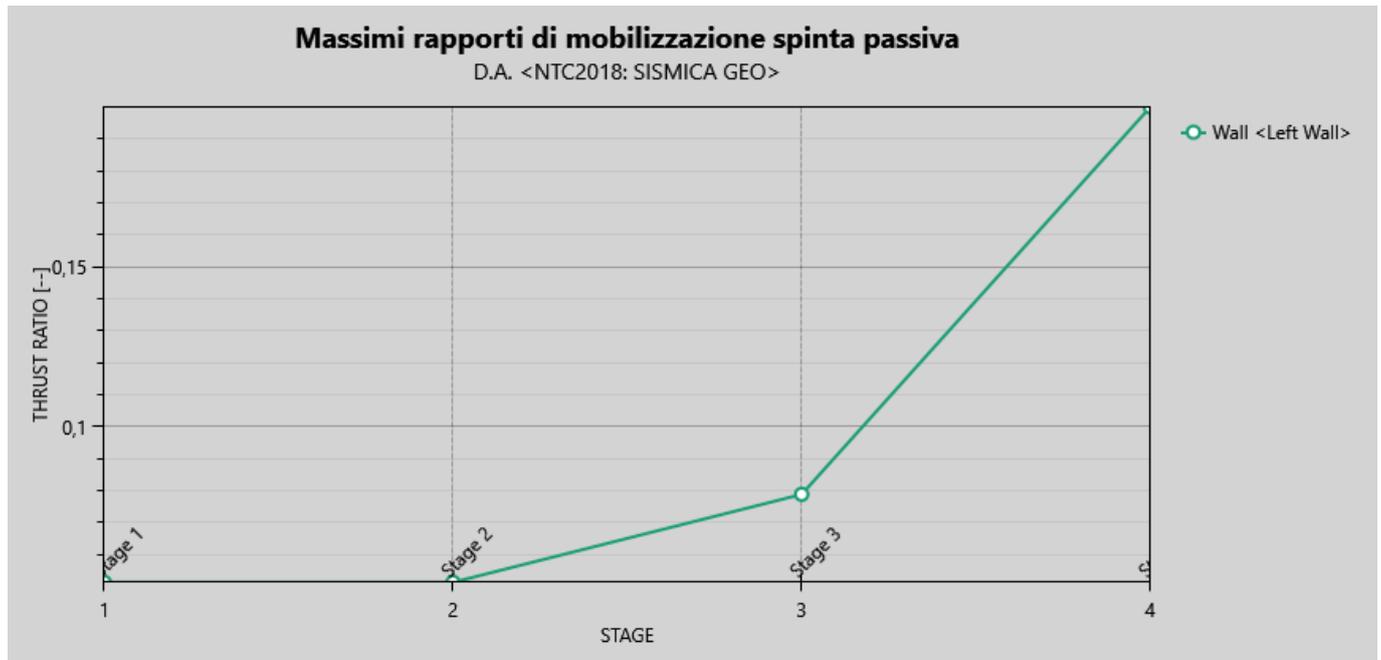
Parete <Left Wall>:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.08	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 2)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.13	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 3)

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	27 di 46

Combinazione SISMICA-GEO:



Parete <Left Wall>:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.05	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 2)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.2	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 4)

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	28 di 46

11.2.2 Sollecitazioni

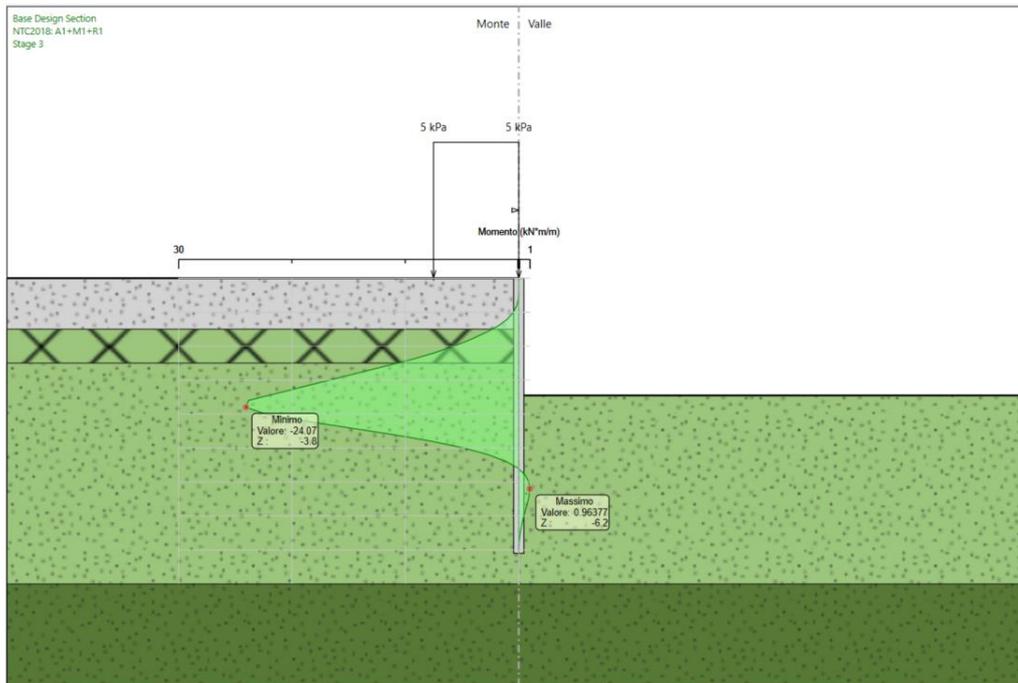


Figura 11-1: Momento in combinazione A1+M1+R1

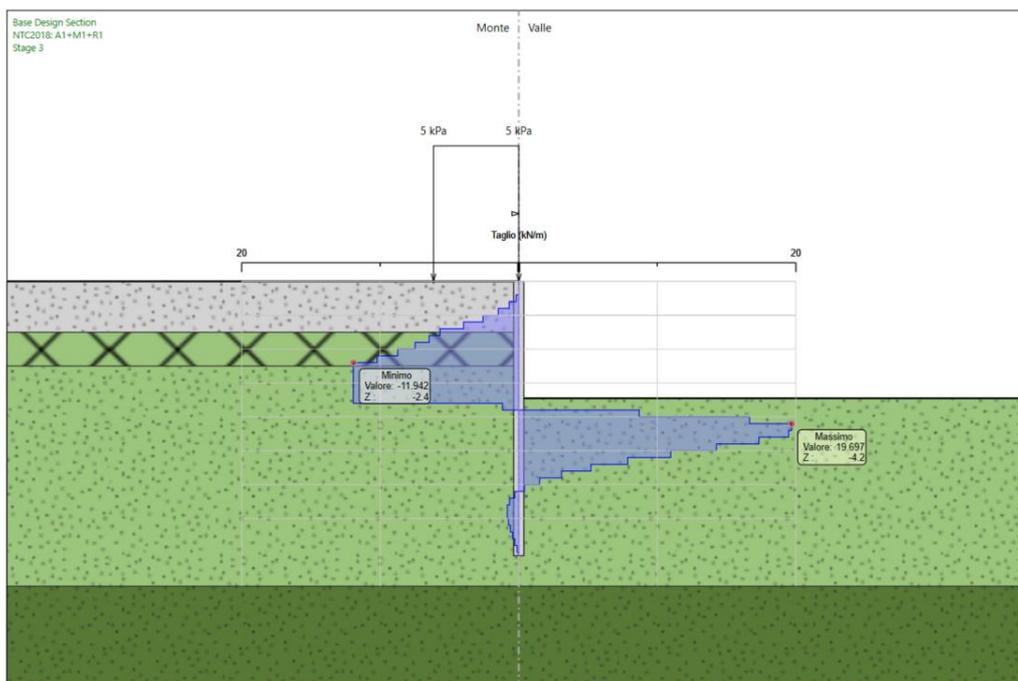


Figura 11-2: : Taglio in combinazione A1+M1+R1

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	29 di 46

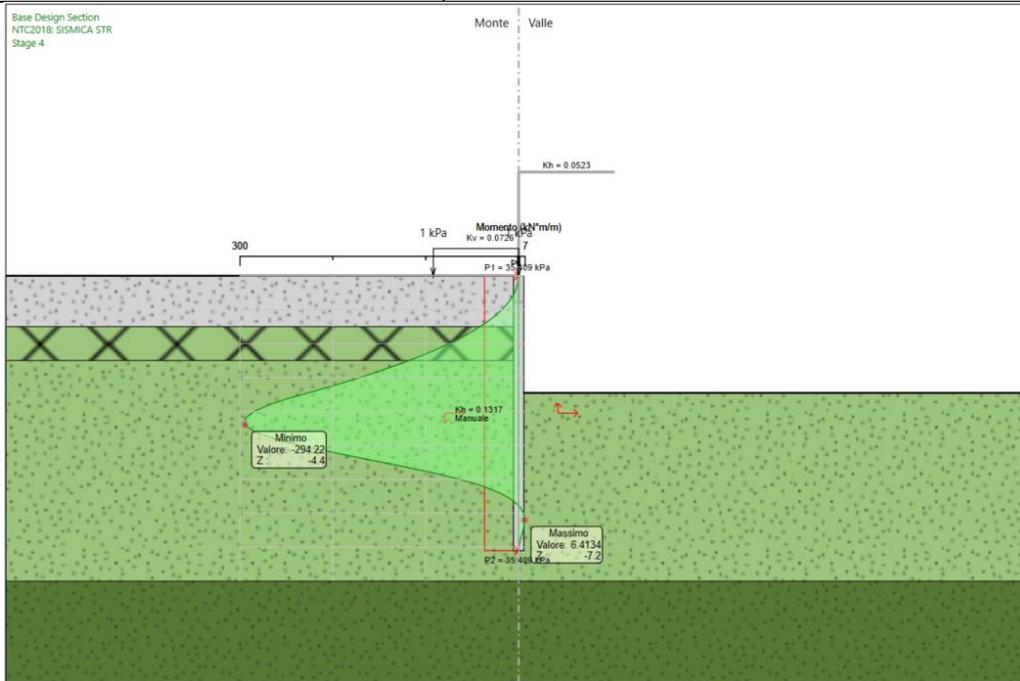


Figura 11-3: Momento in combinazione SISMICA (STR)

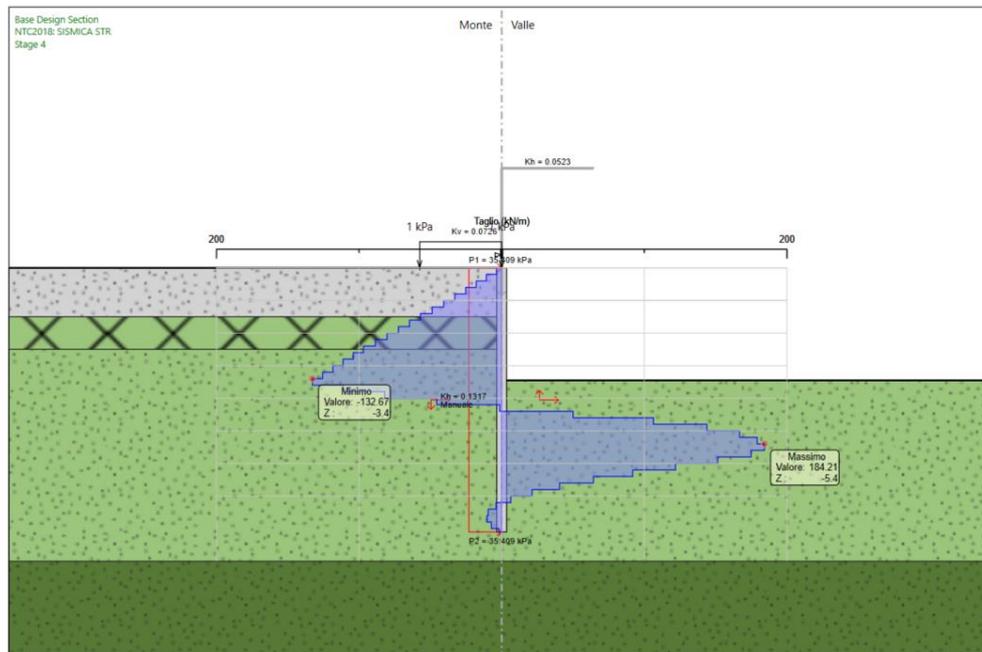


Figura 11-4: : Taglio in combinazione SISMICA (STR)

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	30 di 46

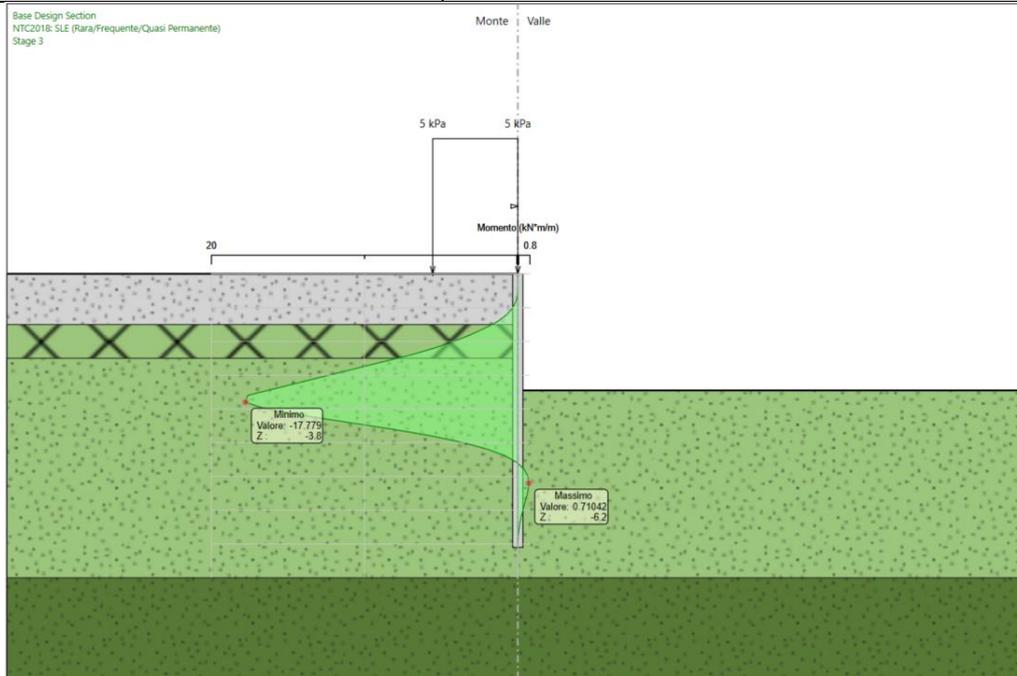


Figura 11-5: Momento in combinazione SLE

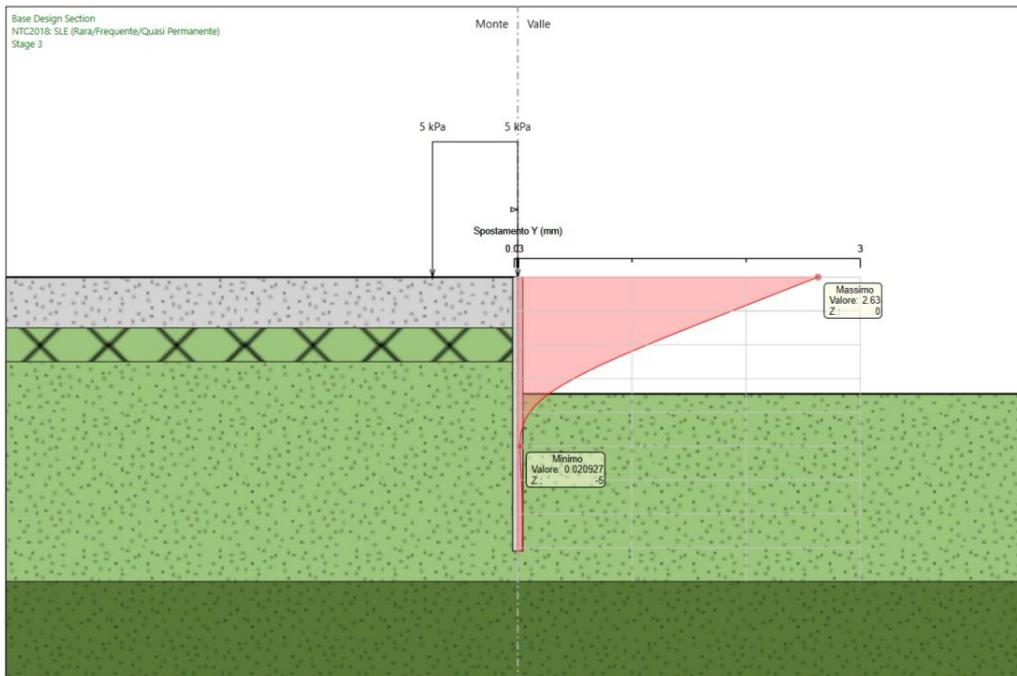


Figura 11-6: Spostamento in combinazione SLE



NODO DI BARI
BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE
PROGETTO DEFINITIVO

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	31 di 46

Lo spostamento orizzontale massimo assoluto è pari a 2.63 mm circa.

Lo spostamento massimo che l'opera può subire è pari a:

$$0.005 H_{\text{scavo}} = 0.005 * 3.15 = 15.8 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

11.2.3 Verifica a stabilità globale del complesso opera-terreno

Come da NTC 2018, la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$FS \geq R2 = 1.1$ è verificata in condizione statica (combinazione A2+M2+R1);

$FS \geq R2 = 1.2$ è verificata in condizione sismica (combinazione SISMICA GEO).

L'analisi di stabilità globale è stata condotta con il metodo di Bishop con l'ausilio del software Paratie Plus 22 e finalizzata all'individuazione delle potenziali superfici di rottura. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto.

Condizione statica

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 3 Eredita le proprietà dalla Fase:

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Bishop

Definizione Superficie Critica

Massimo numero di iterazioni 100 Passo Conci 1 m

Tolleranza FS 0.0001 Contributo del muro all'analisi di stabilità Considera muro solo come vinc

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo Continua anche in presenza di errori nei Geopile.

Golden Section Search Metti in conto le pressioni dell'acqua nei calcoli dei geopile

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop) Usa sempre l'algoritmo generale per i geopiles

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.) Geopile file dump

Intervalli

Estremo iniziale sinistro -15 m Estremo iniziale destro 7 m

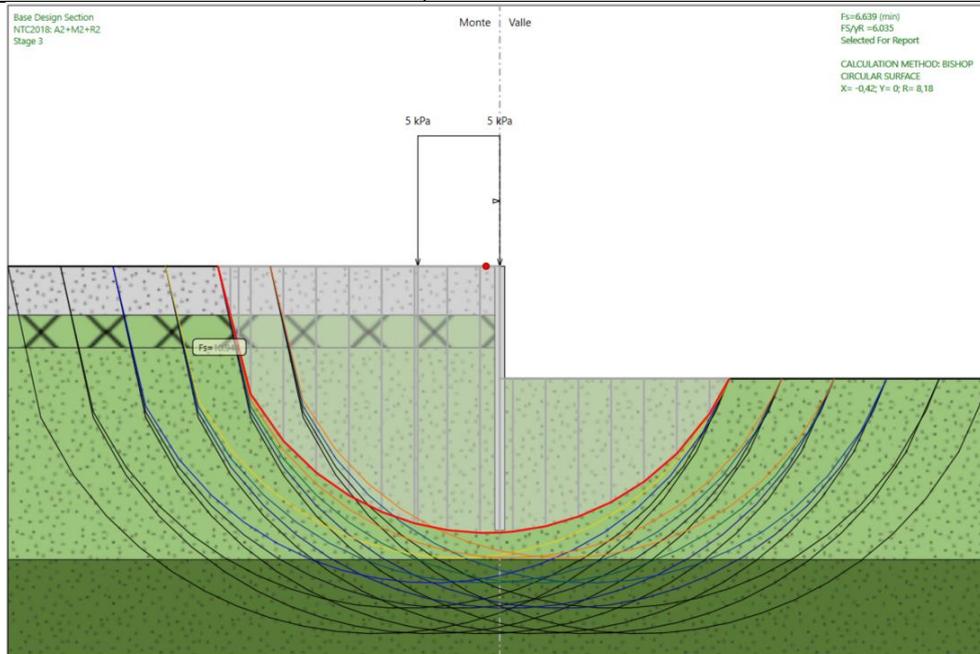
Estremo finale sinistro -7 m Estremo finale destro 15 m

Suddivisioni intervallo sinistro 5 Suddivisioni intervallo destro 5

Raggio Massimo 200 m Numero Raggi 10

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	32 di 46



Il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a $FS^{\text{MIN}} = 6.64$. Essendo $FS^{\text{MIN}} \geq R_2 = 1.1$, verifica di stabilità globale soddisfatta.

Condizione sismica

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 4 Eredita le proprietà dalla Fase: Stage 4

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Bishop

Definizione Superficie Critica N

Massimo numero di iterazioni Passo Conci m

Tolleranza FS Contributo del muro all'analisi di stabilità Considera muro solo come vinc

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo Continua anche in presenza di errori nei Geopile

Golden Section Search Metti in conto le pressioni dell'acqua nei calcoli dei geopile

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop) Usa sempre l'algoritmo generale per i geopiles

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.) Geopile file dump

Sisma

$a_{\text{max}} / g =$

β k_h

k_v

R_d

Intervalli

Estremo iniziale sinistro m Estremo iniziale destro m

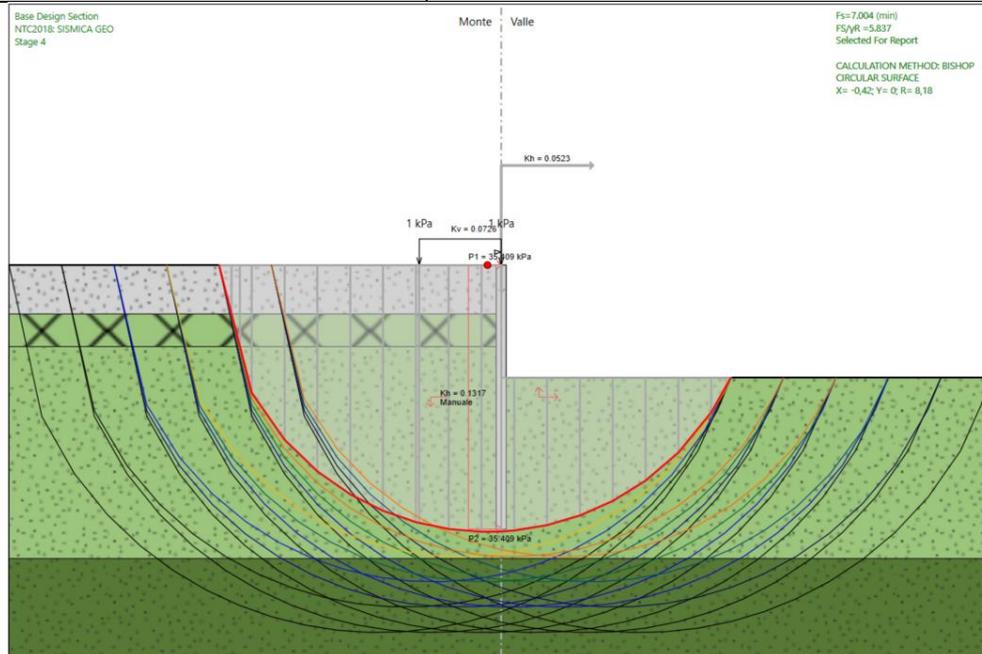
Estremo finale sinistro m Estremo finale destro m

Suddivisioni intervallo sinistro Suddivisioni intervallo destro

Raggio Massimo m Numero Raggi

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	33 di 46



Il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a $FS^{\text{MIN}} = 7.00$. Essendo $FS^{\text{MIN}} \geq R_2 = 1.2$, verifica di stabilità globale soddisfatta.

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	34 di 46

11.3 VERIFICHE STRUTTURALI

In Figura 11-7 viene riportata la classificazione della sezione di acciaio.

Diametro esterno nominale	D	219,10 [mm]
Spessore nominale	T	12,00 [mm]
Diametro interno nominale	d	195,10 [mm]
CARATTERISTICHE MECCANICHE		
Area della sezione trasversale	A	78,1 [cm ²]
Momento d'inerzia	I	4200 [cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	7,33 [cm]
Modulo di resistenza elastico	W _{el,yy}	383 [cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	515 [cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	8400 [cm ⁴]
Modulo di torsione	C _t	767 [cm ³]
CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE		
Valore di snervamento dell'acciaio	f _y	275 [MPa]
Coefficiente ε	ε	0,92 [-]
Classificazione		
Diametro	d	219,10 [mm]
Spessore	t	12,00 [mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	18,26 [-]
Classificazione della sezione	CLASSE 1	

Figura 11-7: Classificazione sezione di acciaio

Nella tabella seguente sono riportate le sollecitazioni a metro lineare e quelle agenti sul singolo micropalo con cui sono state effettuate le verifiche. Queste ultime sono state ottenute a partire dagli output massimi del modello di calcolo moltiplicando per l'interasse tra i micropali (0.4m).

combinazione	Sollecitazioni a metro lineare				Sollecitazioni sul singolo micropalo	
	fase	M _{max}	z (M _{max})	V	M	V
(-)	(-)	(kNm/m)	(m)	(kN/m)	(kNm)	(kN)
A1+M1+R1	3	24.07	-3.80	19.70	9.63	7.88
SISMICA (STR)	4	284.22	-4.40	184.21	113.69	73.68
SLE	3	17.78	-4.60	14.57	7.11	5.83

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	35 di 46

VERIFICHE DI RESISTENZA per sezioni di classe 1,2

$\gamma_{M0} =$	1,05
$\gamma_{M1} =$	1,1

Sollecitazioni di progetto	$N_{ed} =$	0	KN
	$M_{ed} =$	113,69	KNm
	$V_{ed} =$	73,68	KN
Resistenze di calcolo	$N_{c,rd} =$	2044,82	KN
	$M_{c,rd} =$	134,95	KNm
	$V_{c,rd} =$	751,58	KN

Condizione
 $V_{ed} \leq 0.5 \cdot V_{c,rd}$ SI \Rightarrow taglio non influenza la resistenza a flessione
 $\Rightarrow \rho = (2V_{ed}/V_{c,rd}-1)^2 = 0$

Compressione	$N_{ed}/N_{c,rd} =$	0	≤ 1
Flessione	$M_{ed}/M_{c,rd} =$	0,84245	≤ 1
Taglio	$V_{ed}/V_{c,rd} =$	0,09804	≤ 1

Flessione e Taglio
 $M_{v,rd} = (1-\rho)M_{c,rd} = 134,9493$ KNm
 $M_{ed}/M_{v,rd} =$ **0,84245** ≤ 1

Presso-Flessione
 $n = N_{ed}/N_{c,rd} = 0$
 $M_{N,rd} = 1.04 \cdot M_{c,rd} \cdot (1-n^{1.7}) = 140,3473$ KNm
 $M_{ed}/M_{N,rd} =$ **0,84245** ≤ 1

Presso-Flessione e Taglio
 $M_{N,rd} = 1.04 \cdot M_{v,rd} \cdot (1-n^{1.7}) = 140,3473$ KNm
 $M_{ed}/M_{N,rd} =$ **0,84245** ≤ 1

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	36 di 46

12 MODELLO 2 – sezione 2-2

La paratia è costituita da micropali con diametro di perforazione di 300 mm ad interasse 0.40 m di lunghezza 5.70 m, armati con tubolari Ø219.1 di spessore 12 mm e lunghezza 6 m.

Geometria e materiali

Sezione personalizzata

Materiale Inerzia m⁴/m Area m²/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale C25/30

Spessore Ct 1 m

Diametro Cd 0.3 m

Passo Cs 0.4 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidità [0-1] ac 1

Acciaio

Materiale S275

Profilo CHS219.1*12

Passo Ss 0.4 m

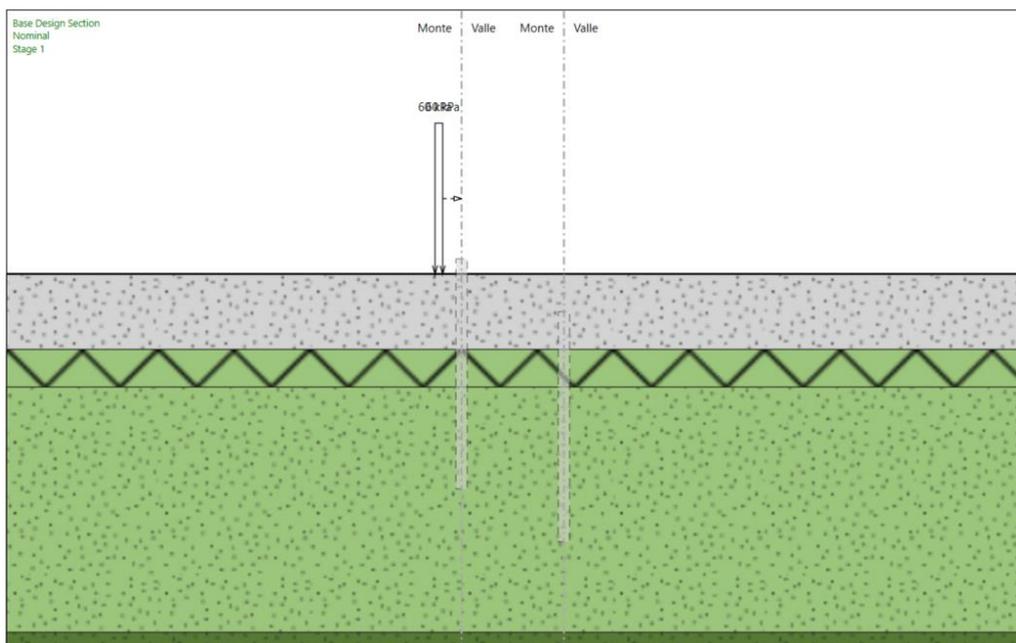
Diametro Sod 0.2191 m

Spessore Sot 0.012 m

12.1 FASI DI CALCOLO

Nel presente paragrafo vengono brevemente descritte e indicate in forma grafica le fasi assunte nel calcolo, nella fattispecie gli step prevedono:

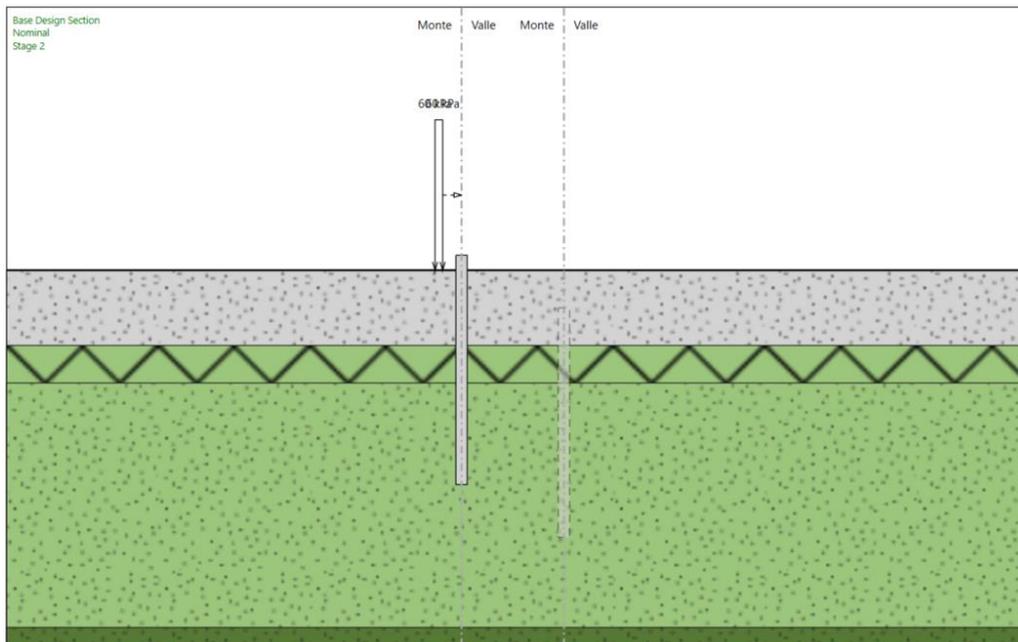
- 1) Condizione iniziale (carico permanente dato dal peso del muro esistente);



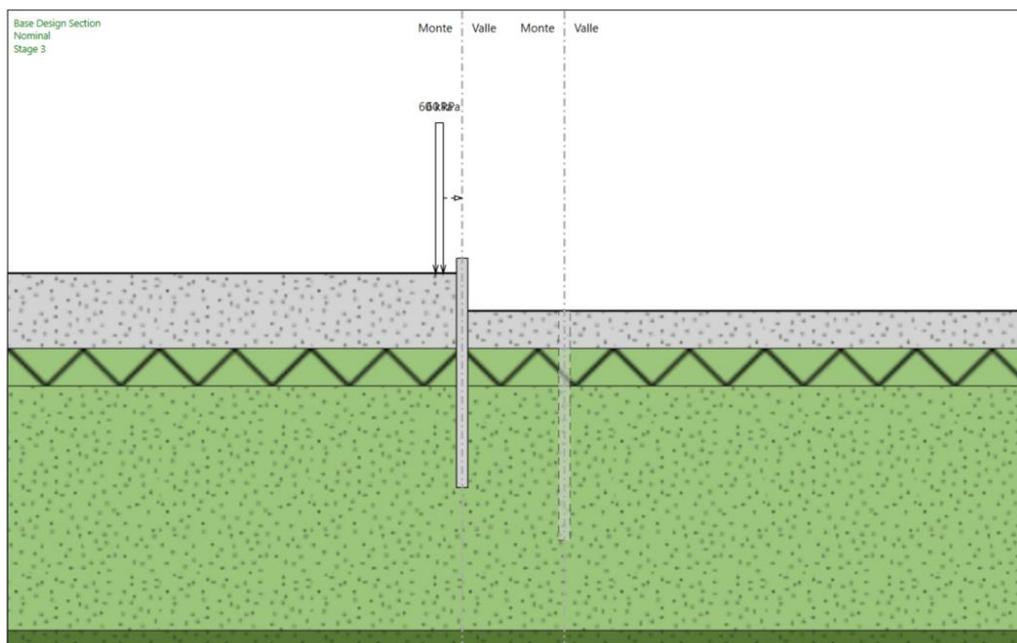
MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	37 di 46

2) Realizzazione dei micropali in sx di lunghezza pari a 5.7m e diametro di perforazione 300mm;



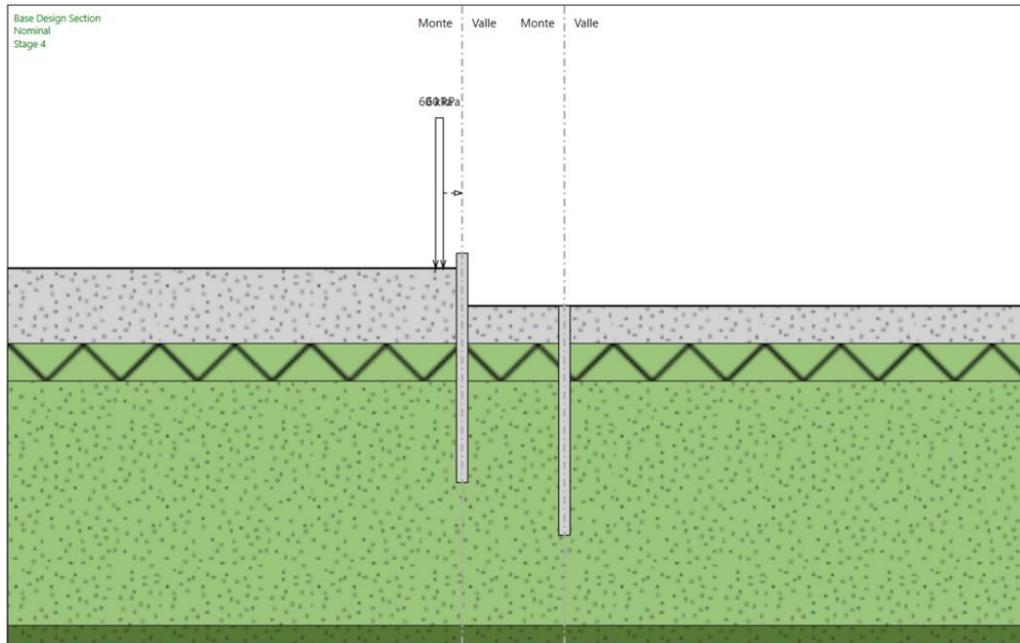
3) Esecuzione scavo fino a quota $z=-1.00m$ fino alla quota della pista ciclabile;



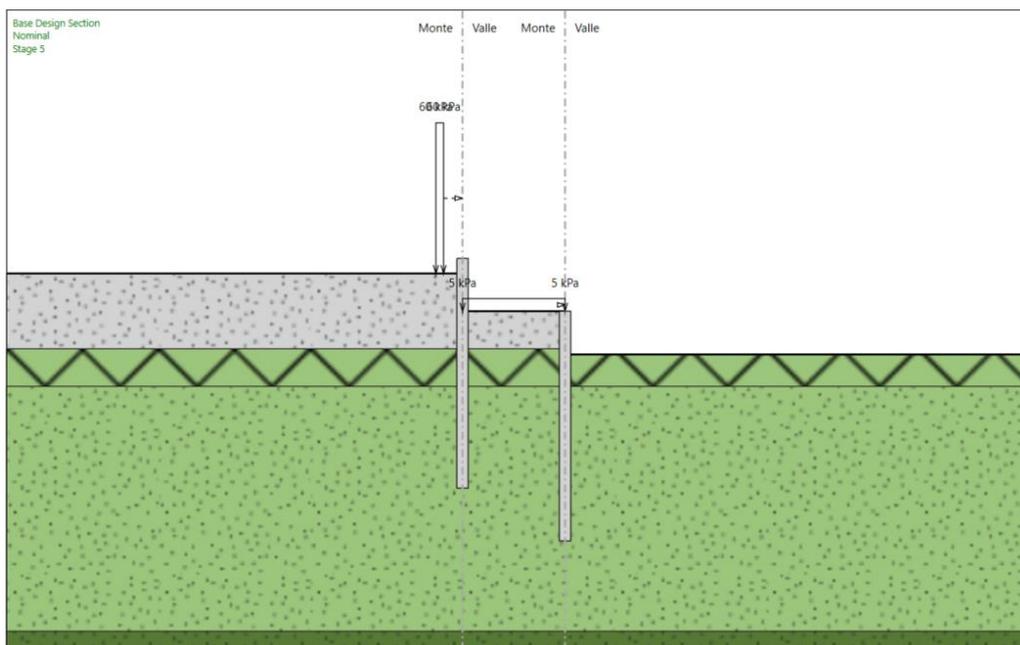
MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	38 di 46

4) Realizzazione dei micropali in dx di lunghezza pari a 5.7m e diametro di perforazione 300mm;



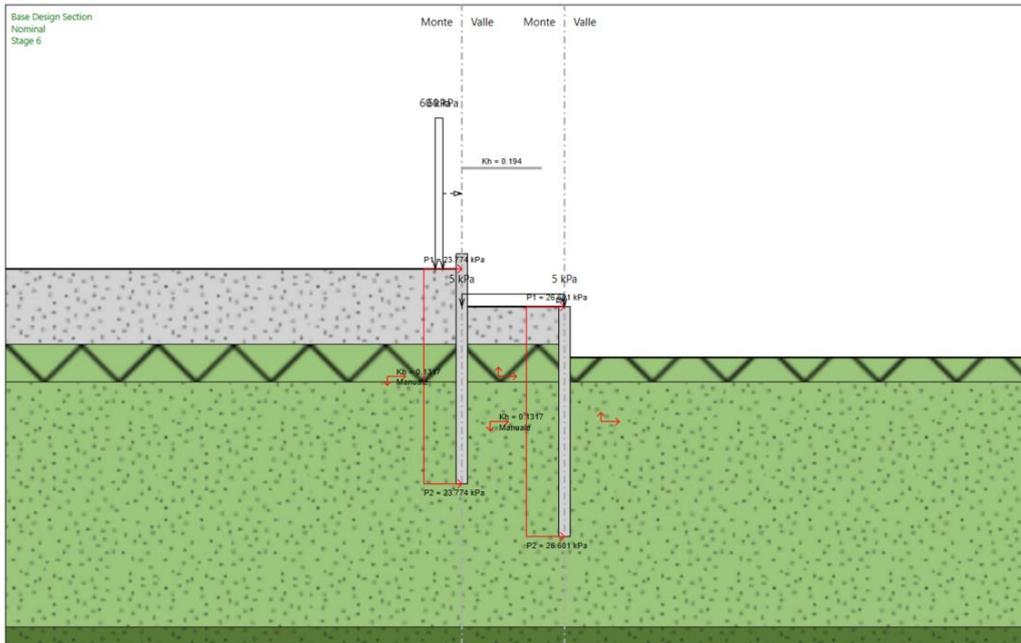
5) Esecuzione scavo fino a quota $z=-2.15\text{m}$ e applicazione del carico accidentale da folla compatta di 5kPa;



MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	39 di 46

6) Azione sismica.



MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

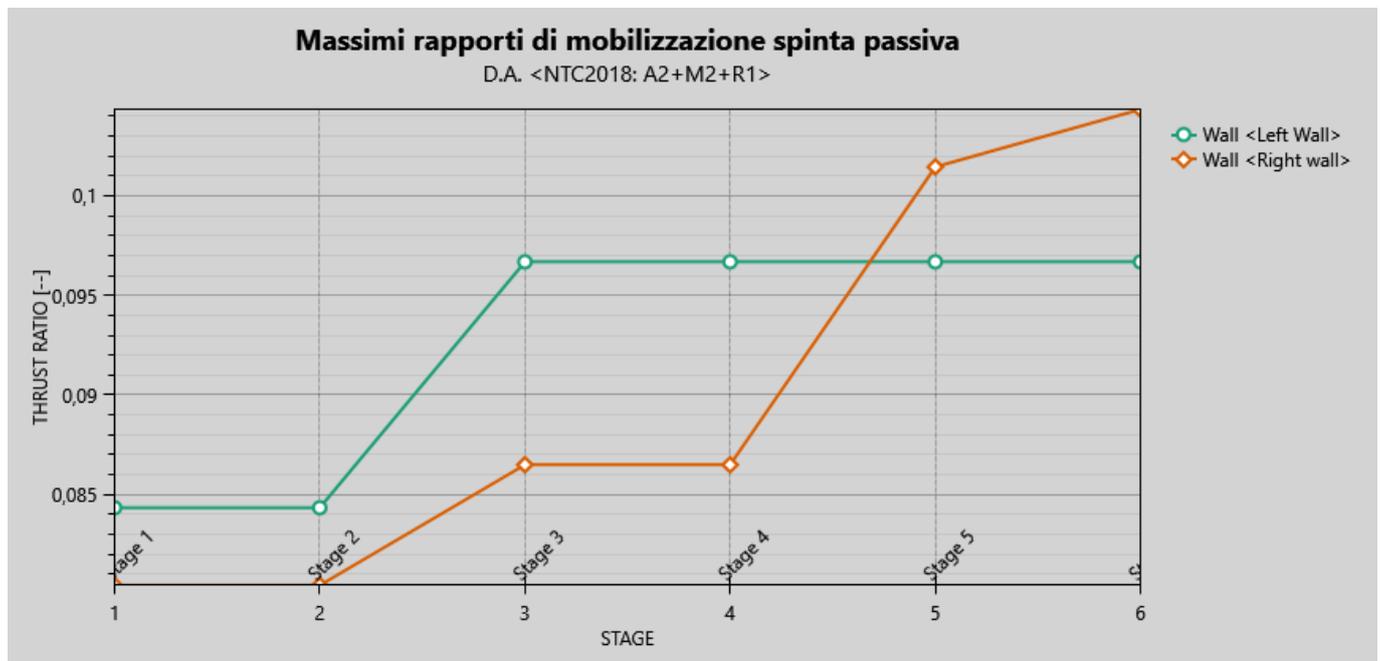
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	40 di 46

12.2 RISULTATI

12.2.1 Mobilitazione della spinta passiva

Di seguito si riporta il valore del grado di mobilitazione della resistenza passiva a valle dell'opera di sostegno per le combinazioni previste da Normativa (SLU-GEO). Il grado di mobilitazione risulta inferiore al 100%.

Combinazione A2+M2+R1:



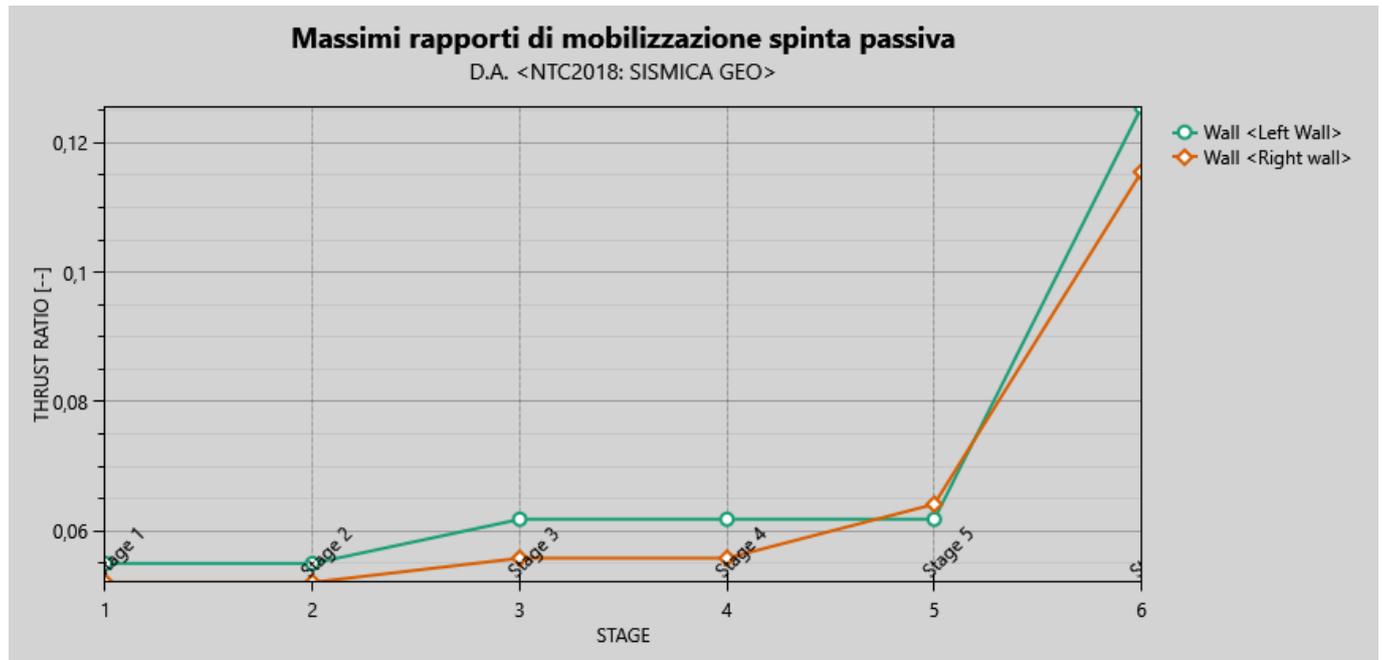
Parete <Left Wall>:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.08	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 2)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.1	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 6)

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	41 di 46

Combinazione SISMICA-GEO:



Parete <Left Wall>:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.05	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 2)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.13	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 6)

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	42 di 46

12.2.2 Sollecitazioni

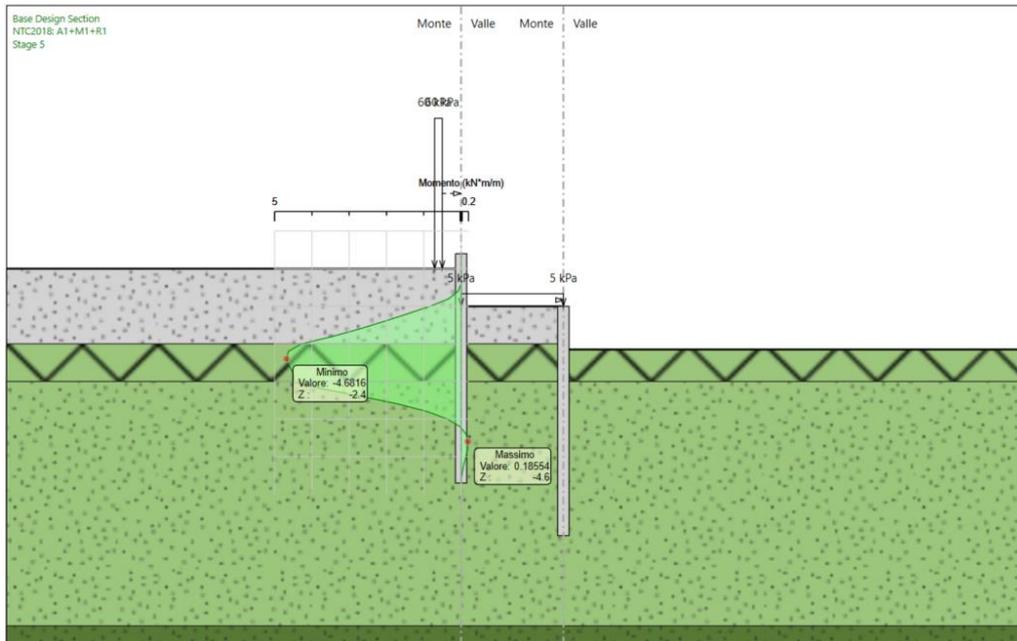


Figura 12-1: Momento in combinazione A1+M1+R1

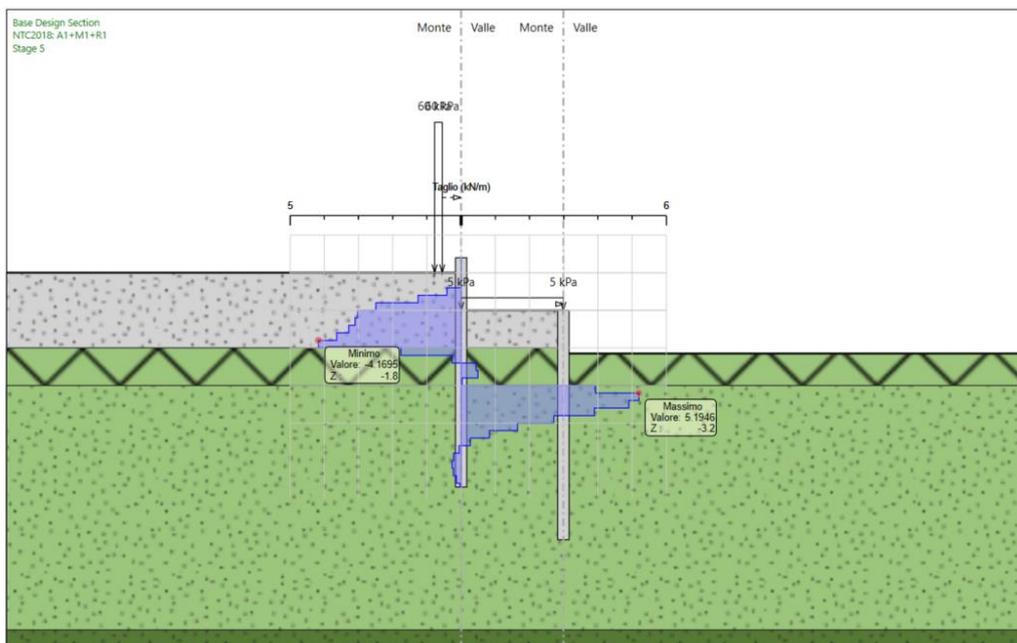


Figura 12-2: Taglio in combinazione A1+M1+R1

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	43 di 46

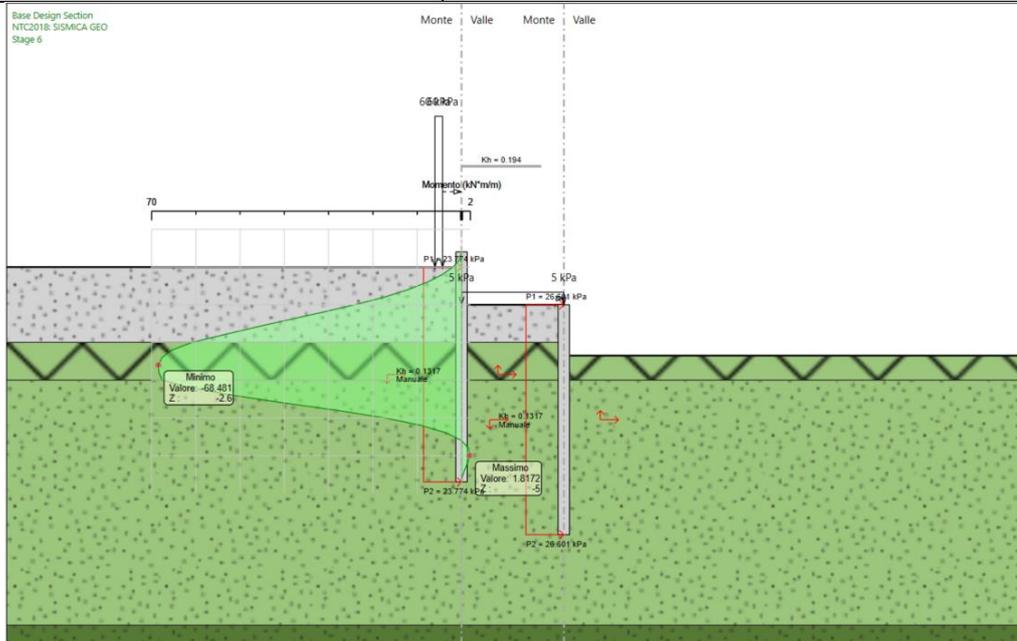


Figura 12-3: Momento in combinazione SISMICA (STR)

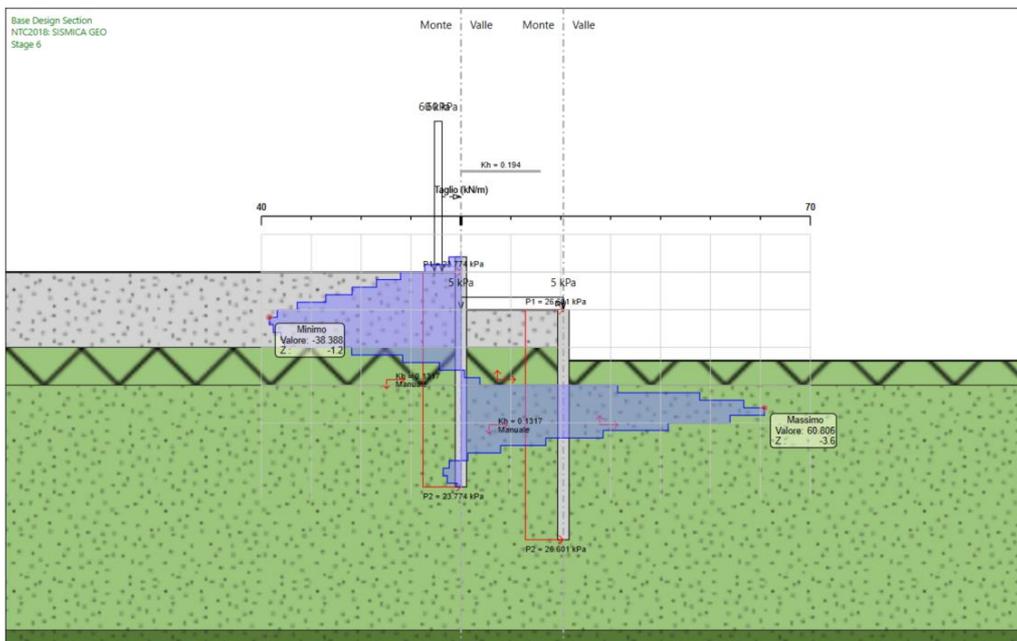


Figura 12-4: Taglio in combinazione SISMICA (STR)

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	44 di 46

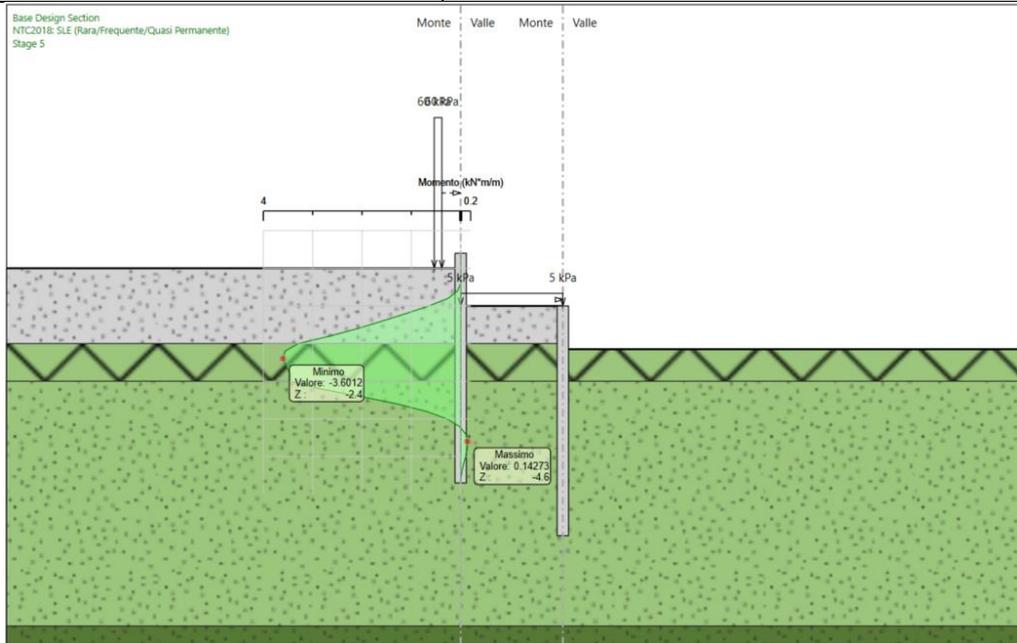


Figura 12-5: Momento in combinazione SLE

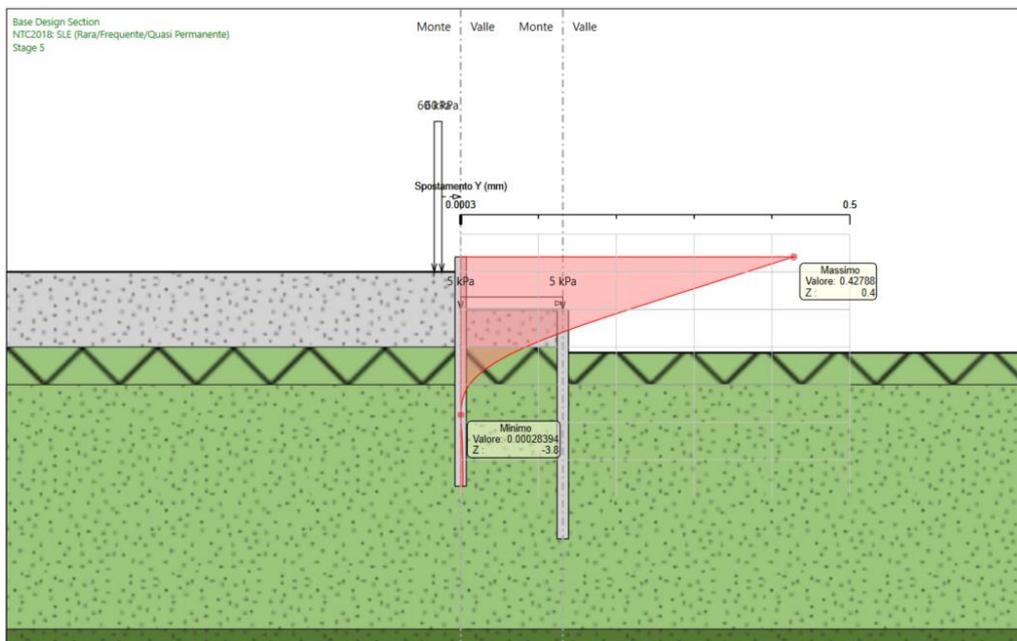


Figura 12-6: Spostamento in combinazione SLE

Lo spostamento orizzontale massimo assoluto è pari a 0.43 mm circa. Lo spostamento massimo che l'opera può subire è pari a: $0.005 H_{\text{scavo}} = 0.005 * 1.00 = 5.00 \text{ mm}$ Condizione soddisfatta

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	45 di 46

12.3 VERIFICHE STRUTTURALI

In Figura 12-7 viene riportata la classificazione della sezione di acciaio.

Diametro esterno nominale	D	219,10 [mm]
Spessore nominale	T	12,00 [mm]
Diametro interno nominale	d	195,10 [mm]
CARATTERISTICHE MECCANICHE		
Area della sezione trasversale	A	78,1 [cm ²]
Momento d'inerzia	I	4200 [cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	7,33 [cm]
Modulo di resistenza elastico	W _{el,yy}	383 [cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	515 [cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	8400 [cm ⁴]
Modulo di torsione	C _t	767 [cm ³]
CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE		
Valore di snervamento dell'acciaio	f _y	275 [MPa]
Coefficiente ε	ε	0,92 [-]
Classificazione		
Diametro	d	219,10 [mm]
Spessore	t	12,00 [mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	18,26 [-]
Classificazione della sezione	CLASSE 1	

Figura 12-7: Classificazione sezione di acciaio

Nella tabella seguente sono riportate le sollecitazioni a metro lineare e quelle agenti sul singolo micropalo con cui sono state effettuate le verifiche. Queste ultime sono state ottenute a partire dagli output massimi del modello di calcolo moltiplicando per l'interasse tra i micropali.

combinazione	Sollecitazioni a metro lineare				Sollecitazioni sul singolo micropalo	
	fase	M _{max}	z (M _{max})	V	M	V
(-)	(-)	(kNm/m)	(m)	(kN/m)	(kNm)	(kN)
A1+M1+R1	5	4.68	-2.40	5.19	1.87	2.08
SISMICA (STR)	6	68.48	-2.60	60.81	27.39	24.32
SLE	5	3.60	-2.40	4.00	1.44	1.60

MU20 – Paratia di protezione della viabilità
NV05A – Relazione di calcolo

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU 20 00 001	A	46 di 46

VERIFICHE DI RESISTENZA per sezioni di classe 1,2

$\gamma_{M0} =$	1,05
$\gamma_{M1} =$	1,1

Sollecitazioni di progetto	$N_{ed} =$	0	KN
	$M_{ed} =$	27,39	KNm
	$V_{ed} =$	24,32	KN

Resistenze di calcolo	$N_{c,rd} =$	2044,82	KN
	$M_{c,rd} =$	134,95	KNm
	$V_{c,rd} =$	751,58	KN

Condizione
 $V_{ed} \leq 0,5 \cdot V_{c,rd}$ SI \Rightarrow taglio non influenza la resistenza a flessione
 $\Rightarrow \rho = (2V_{ed}/V_{c,rd} - 1)^2 = 0$

Compressione $N_{ed}/N_{c,rd} = 0 \leq 1$

Flessione $M_{ed}/M_{c,rd} = 0,20298 \leq 1$

Taglio $V_{ed}/V_{c,rd} = 0,03236 \leq 1$

Flessione e Taglio
 $M_{v,rd} = (1-\rho)M_{c,rd} = 134,9493$ KNm
 $M_{ed}/M_{v,rd} = 0,20298 \leq 1$

Presso-Flessione
 $n = N_{ed}/N_{c,rd} = 0$
 $M_{N,rd} = 1,04 \cdot M_{c,rd} \cdot (1 - n^{1.7}) = 140,3473$ KNm
 $M_{ed}/M_{N,rd} = 0,20298 \leq 1$

Presso-Flessione e Taglio
 $M_{N,rd} = 1,04 \cdot M_{v,rd} \cdot (1 - n^{1.7}) = 140,3473$ KNm
 $M_{ed}/M_{N,rd} = 0,20298 \leq 1$