

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

MU18 - PARATIE di protezione degli scavi in corrispondenza della SP210 al km 7+891

Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

IADR 00 D 29 CL MU1800 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>	SETT '23	G.Dimaggio <i>G. Dimaggio</i>	SETT '23	F.ARDUINI 29/09/2023 

File: IADR00D29CLMU1800001A

n. Elab.:



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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	2 di 30

Relazione di calcolo

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE	6
3	SCOPO DEL DOCUMENTO	9
3.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	9
4	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	11
4.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	11
4.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	11
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	12
5.1	CALCESTRUZZO	12
5.2	ACCIAIO	12
5.2.1	<i>Acciaio per cemento armato</i>	12
5.2.2	<i>Acciaio per tubolari</i>	12
6	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	13
7	CRITERI DI VERIFICA PARATIE	15
7.1	VERIFICHE SLU	15
7.2	VERIFICHE SLE	15
8	ANALISI DEI CARICHI	16
8.1	SPINTA DEL TERRENO	16
8.2	PESO PROPRIO	17
8.3	CARICHI PERMANENTI	17
8.4	CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO STRADALE	17
9	COMBINAZIONI DI CARICO	19
10	PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA DI MICROPALI	21



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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
 CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	3 di 30

Relazione di calcolo

10.1	MODELLO DI CALCOLO	21
10.2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	21
10.3	FASI DI CALCOLO	22
10.4	RISULTATI.....	25
10.4.1	<i>Mobilizzazione della spinta passiva</i>	25
10.4.2	<i>Sollecitazioni</i>	26
10.4.3	<i>Verifica a stabilità globale del complesso opera-terreno</i>	27
10.5	VERIFICHE STRUTTURALI	29



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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	4 di 30

Relazione di calcolo

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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	5 di 30

Relazione di calcolo

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.

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:

- $V_c = 200 \text{ km/h}$ ($V_t = 180 \text{ km/h}$)
- 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.

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
 CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	7 di 30

Relazione di calcolo

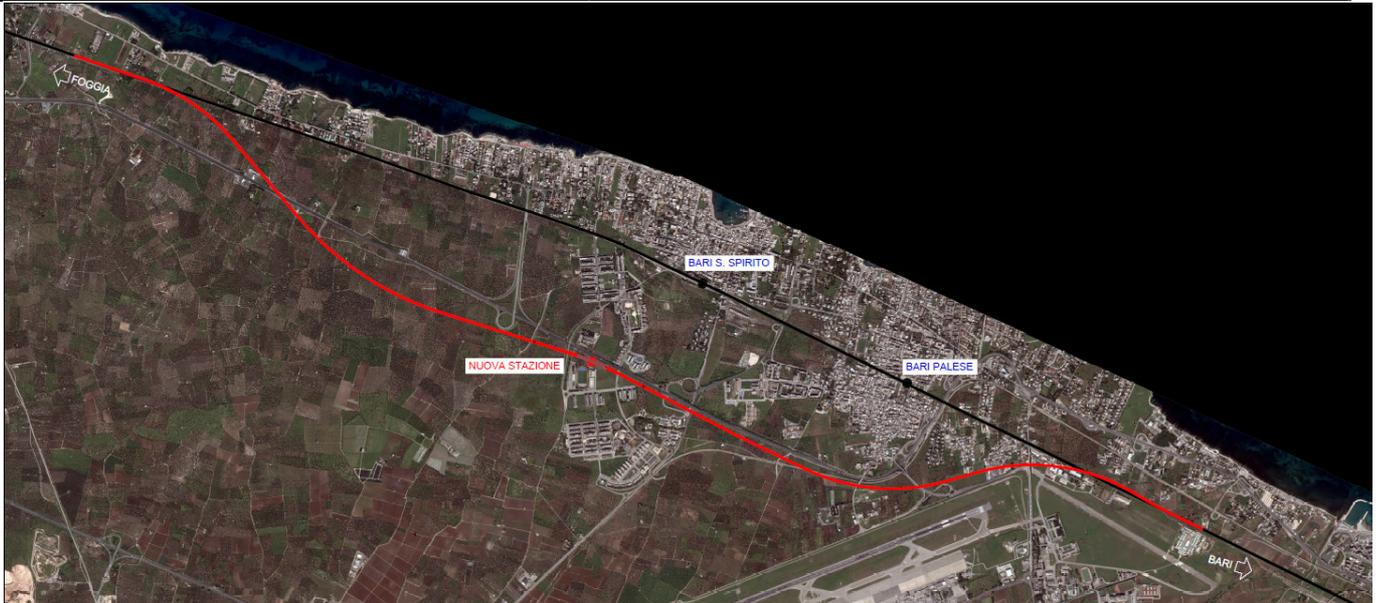


Figura 2-2 Tracciato Rosso

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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	8 di 30

Relazione di calcolo

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 Bregnoia 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.

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	9 di 30

Relazione di calcolo

3 SCOPO DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione viene riportato il calcolo delle paratie di protezione degli scavi in corrispondenza della SP210 al km 7+891 relativa al Progetto Definitivo della linea ferroviaria Bari – Barletta, lungo la tratta ferroviaria Bari Nord Santo Spirito – Bari Palese.



Figura 3-1: planimetria del tracciato in oggetto - Google Earth.

3.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La paratia di micropali in oggetto ha una lunghezza di 8,60m: i micropali, di diametro 250mm hanno un interasse di 40 cm.

Si riporta di seguito la sezione di interesse.

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	10 di 30

Relazione di calcolo

SEZIONE TRASVERSALE
SCALA 1:100

PARATIA DI MICROPALI L=8.60m D=250 mm
TUBOLARE D 168.3/10 i=40 cm
cordolo L=38.40m

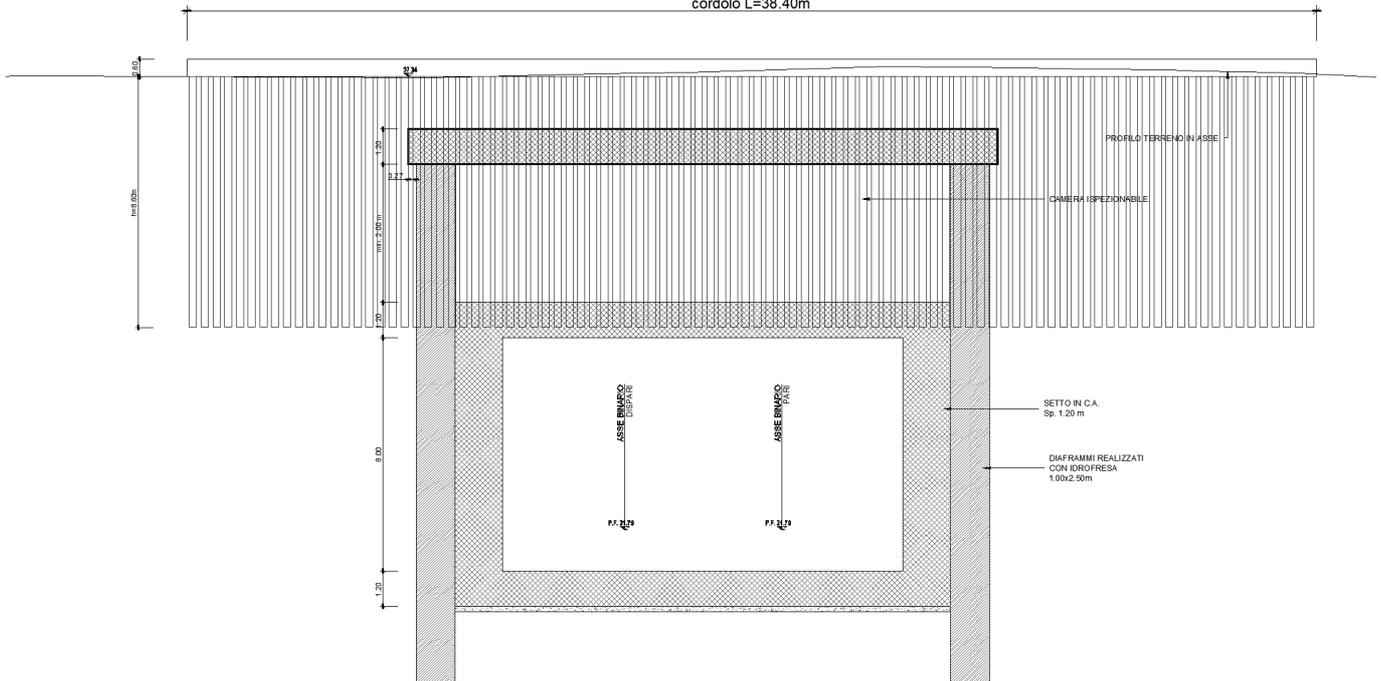


Figura 3-2: Sezione tipo

	NODO DI BARI BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE PROGETTO DEFINITIVO					
MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	REL 00	CODIFICA D 29 CL	DOCUMENTO MU1800001	REV. A	FOGLIO 11 di 30

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 CS MA IFS 001 del 2021 - “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.



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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	12 di 30

Relazione di calcolo

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

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

5.1 CALCESTRUZZO

- 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

5.2 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 $f_{yk} = 450$ N/mm²
- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540$ N/mm²
- resistenza di calcolo a trazione $f_{yd} = 391.30$ N/mm²
- modulo elastico $E_s = 206000$ N/mm²

5.2.2 Acciaio per tubolari

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	13 di 30

Relazione di calcolo

- Acciaio S275
- Tensione di snervamento f_y 275 N/mm²
- Tensione ultima a rottura f_u 275 N/mm²

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)		(MPa)		(MPa)	(m/s)
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 -33 m s.l.m. e non interferisce con le opere in progetto.

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	14 di 30

Relazione di calcolo

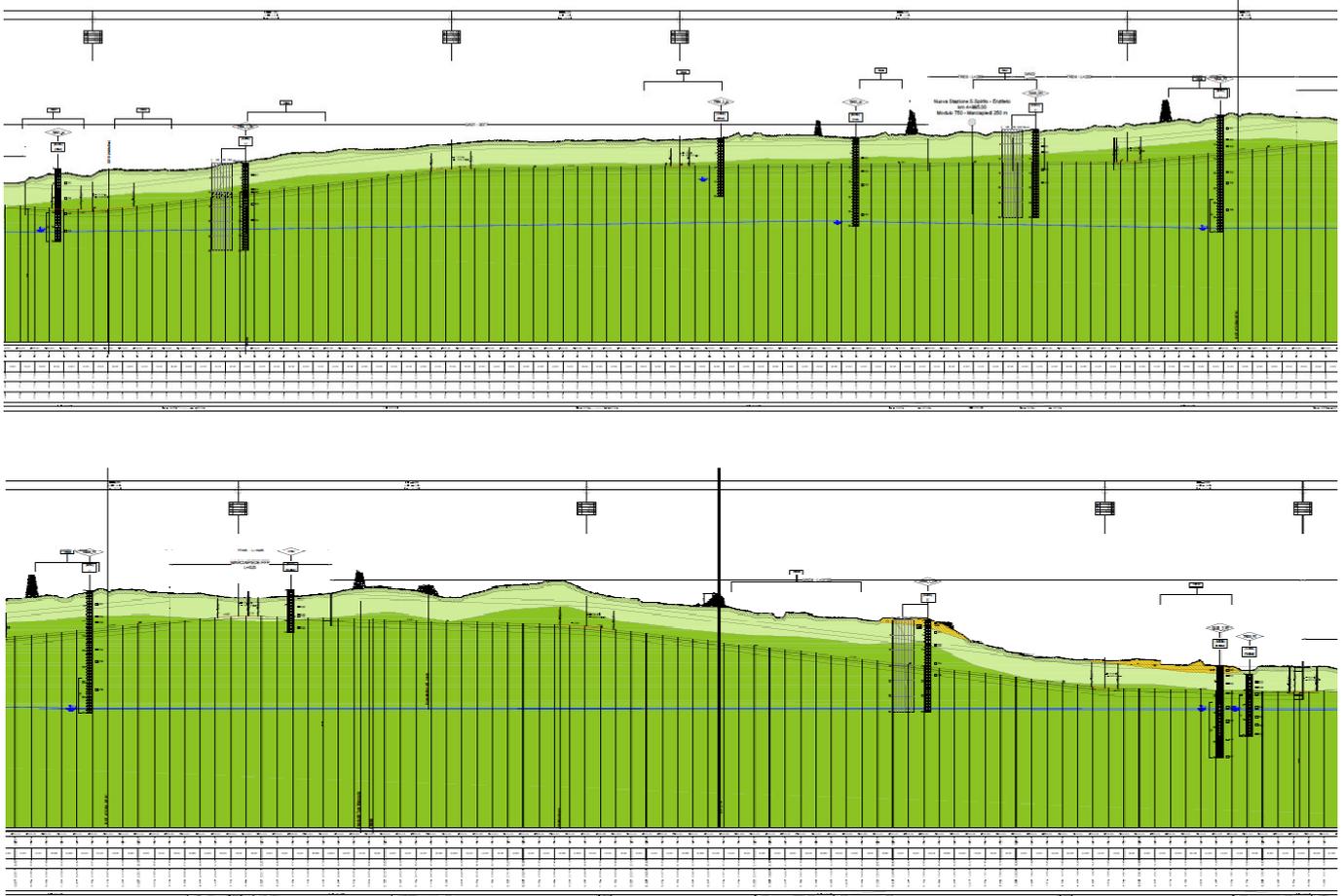


Figura 6-1: profilo geotecnico

Nel modello di calcolo è stata analizzata la seguente stratigrafia, relativa alla pk 7+891 km.

Unità Geotecnica	Profondità da p.c.	
	da (m)	a (m)
TC	0	4.3
Calt	4.3	5.3
C1b	5.3	12.3
C2	12.3	-



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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	15 di 30

Relazione di calcolo

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).

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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	16 di 30

Relazione di calcolo

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 e in esercizio.

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:

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

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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	17 di 30

Relazione di calcolo

8.2 PESO PROPRIO

Il carico dovuto al peso proprio è rappresentato dal solo peso dei diaframmi e delle solette. Come prassi nel calcolo delle paratie, il peso proprio non ha influenza sul comportamento dell'opera, ma viene considerato ai fini della valutazione degli sforzi assiali sui diaframmi.

8.3 CARICHI PERMANENTI

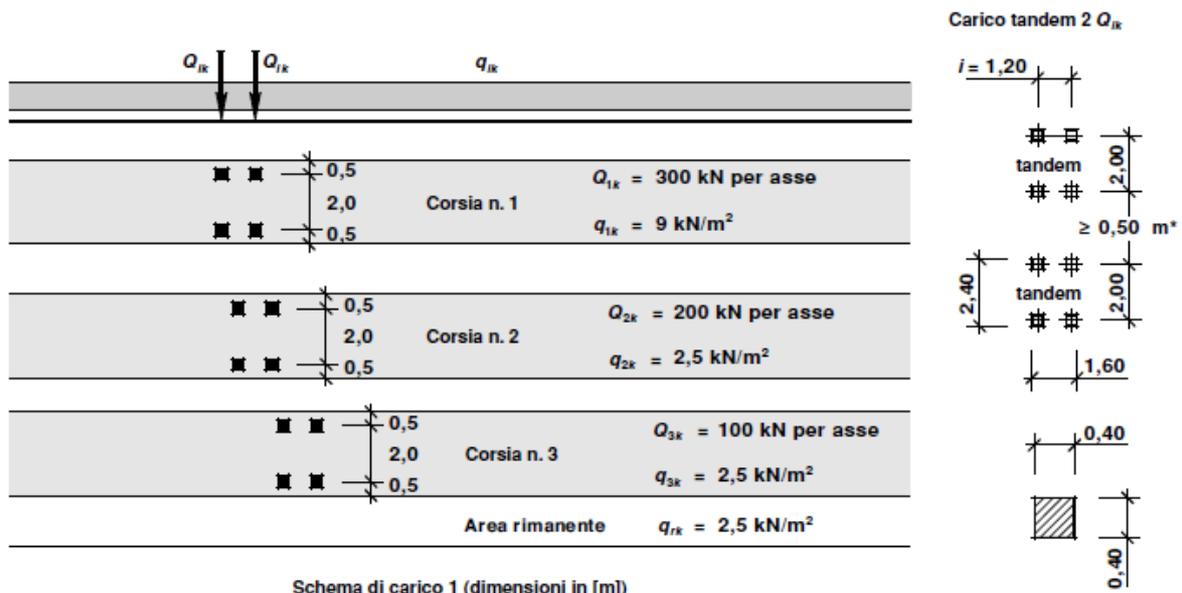
I carichi permanenti considerati sono quelli dovuti al peso totale del pacchetto stradale, caratterizzato da uno spessore di 32 cm ed un peso medio pari a 20 kN/m^3 , e del ricoprimento pari ad 1.5 m sulla soletta di copertura ($\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$)

8.4 CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO STRADALE

Le azioni da traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dagli schemi di carico di seguito elencati (D. Min. 14/01/2008).

Schema 1

Utilizzato sia per le verifiche globali che per quelle locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Esso è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem (applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40m) e da carichi uniformemente distribuiti secondo le seguenti colonne di carico:



* per $w, \leq 2,90 \text{ m}$

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	18 di 30

Relazione di calcolo

In senso trasversale i carichi Q_{ik} e q_{ik} sono distribuiti su corsie convenzionali di larghezza pari a 3,00 m in modo tale da ottenere la distribuzione trasversale più gravosa.

La condizione più gravosa in termini di sollecitazioni è stata ottenuta disponendo la corsia convenzionale n.1 in direzione ortogonale allo sviluppo dell'opera, con il carico tandem applicato secondo due configurazioni differenti per la verifica dei diaframmi e della soletta di copertura. Queste verranno illustrate nei successivi capitoli nei rispettivi modelli di calcolo. In entrambi i casi i carichi sono stati diffusi fino alla quota di ciascun elemento modellato secondo il seguente schema riportato nelle NTC2018.

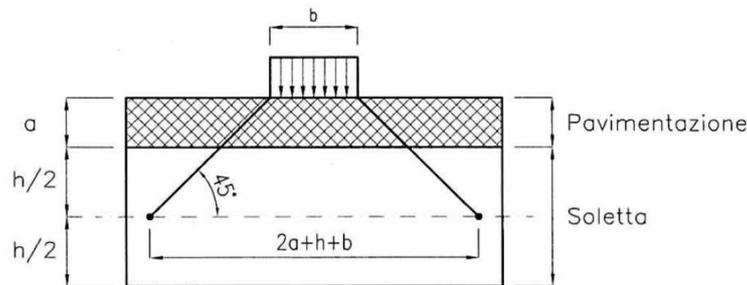


Figura 8-1: Diffusione dei carichi concentrati nelle solette

Nel caso della paratia provvisoria di micropali il carico variabile da traffico stradale viene assunto pari a 20 kPa distribuito su una larghezza di 5 m.

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	19 di 30

Relazione di calcolo

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):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

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.

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	20 di 30

Relazione di calcolo

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
	gT_1	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gT_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gT_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gT_4	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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	21 di 30

Relazione di calcolo

10 PROGETTO E VERIFICA DELLA PARATIA DI MICROPALI

10.1 MODELLO 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.

10.2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La paratia è costituita da micropali con diametro di perforazione di 250 mm ad interasse 0.40 m di lunghezza 8.60 m, armati con tubolari Ø168.3 di spessore 10 mm e lunghezza 8.60 m.



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

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

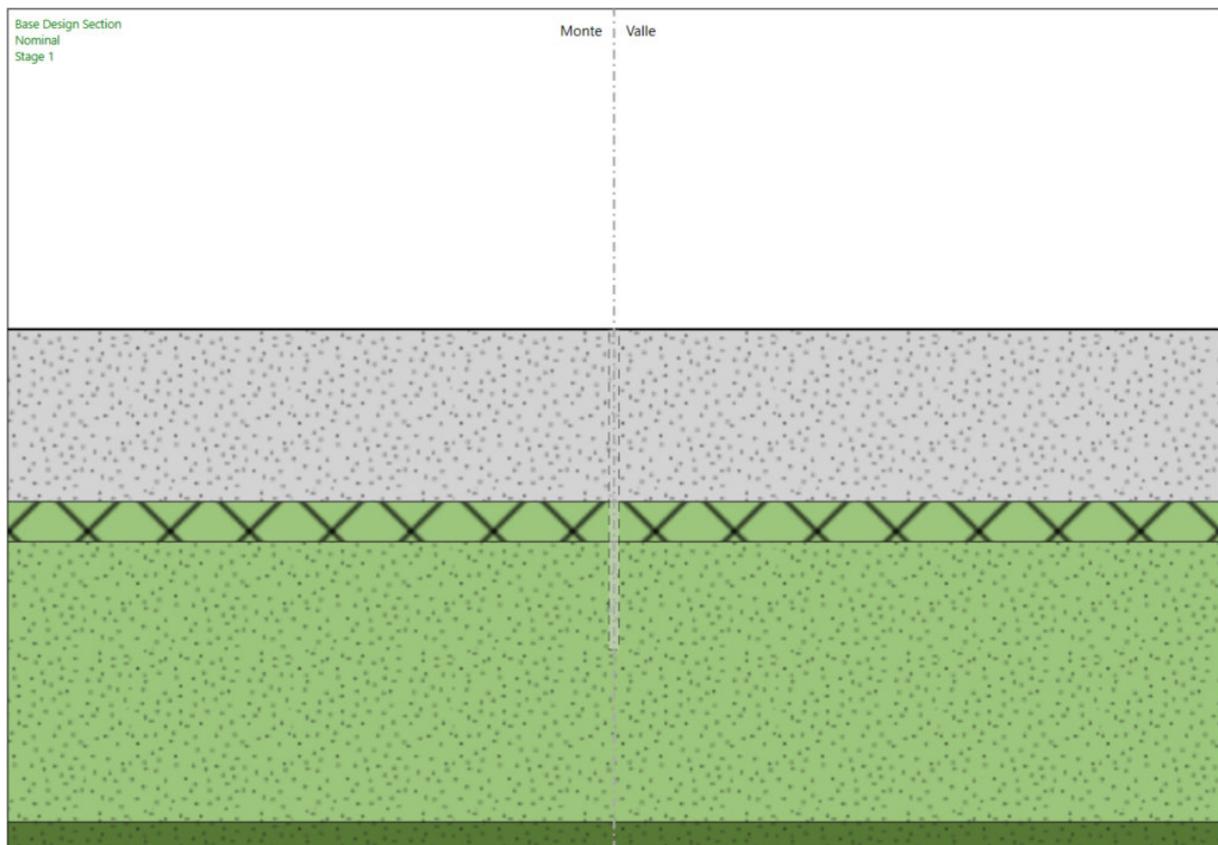
COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	22 di 30

Relazione di calcolo

10.3 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

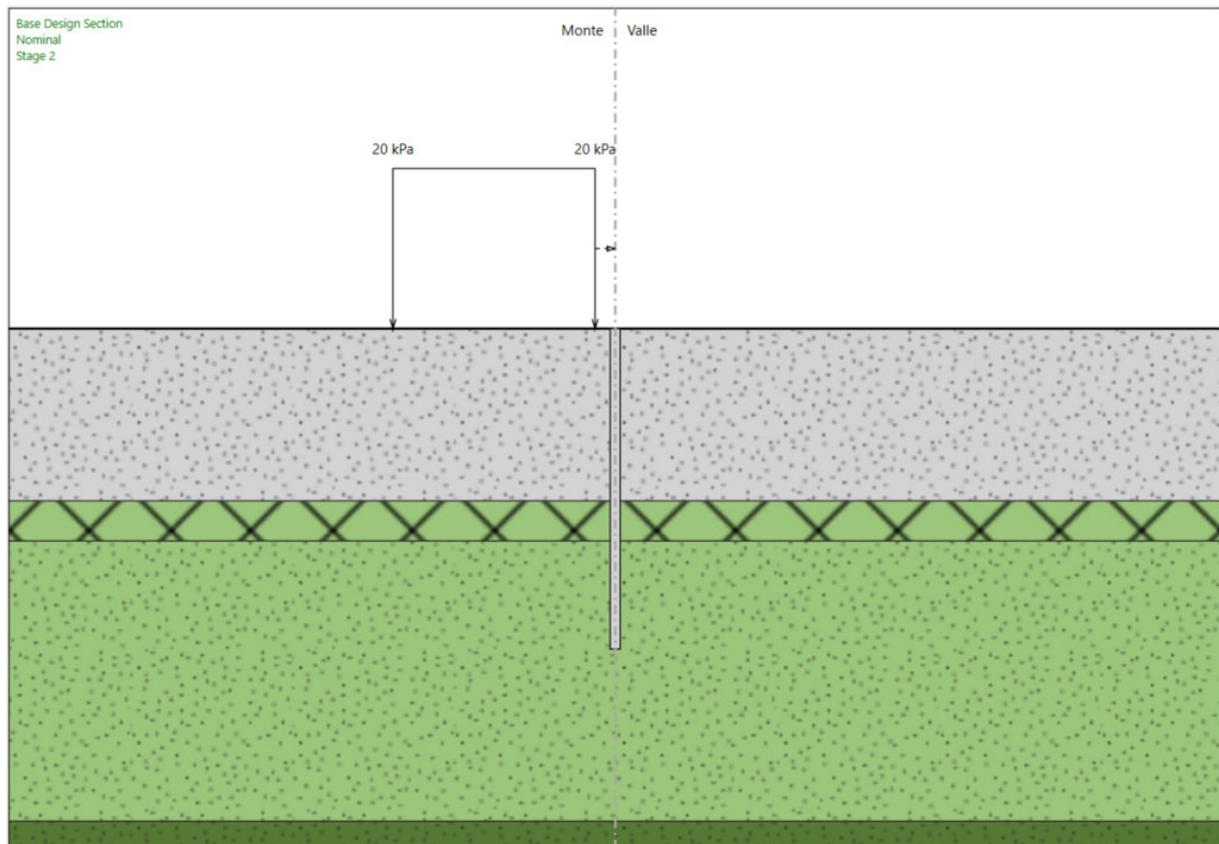


MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	23 di 30

Relazione di calcolo

- 2) Realizzazione dei micropali di lunghezza pari a 8.6m e diametro di perforazione 250mm e applicazione del carico da traffico stradale di 20 kPa

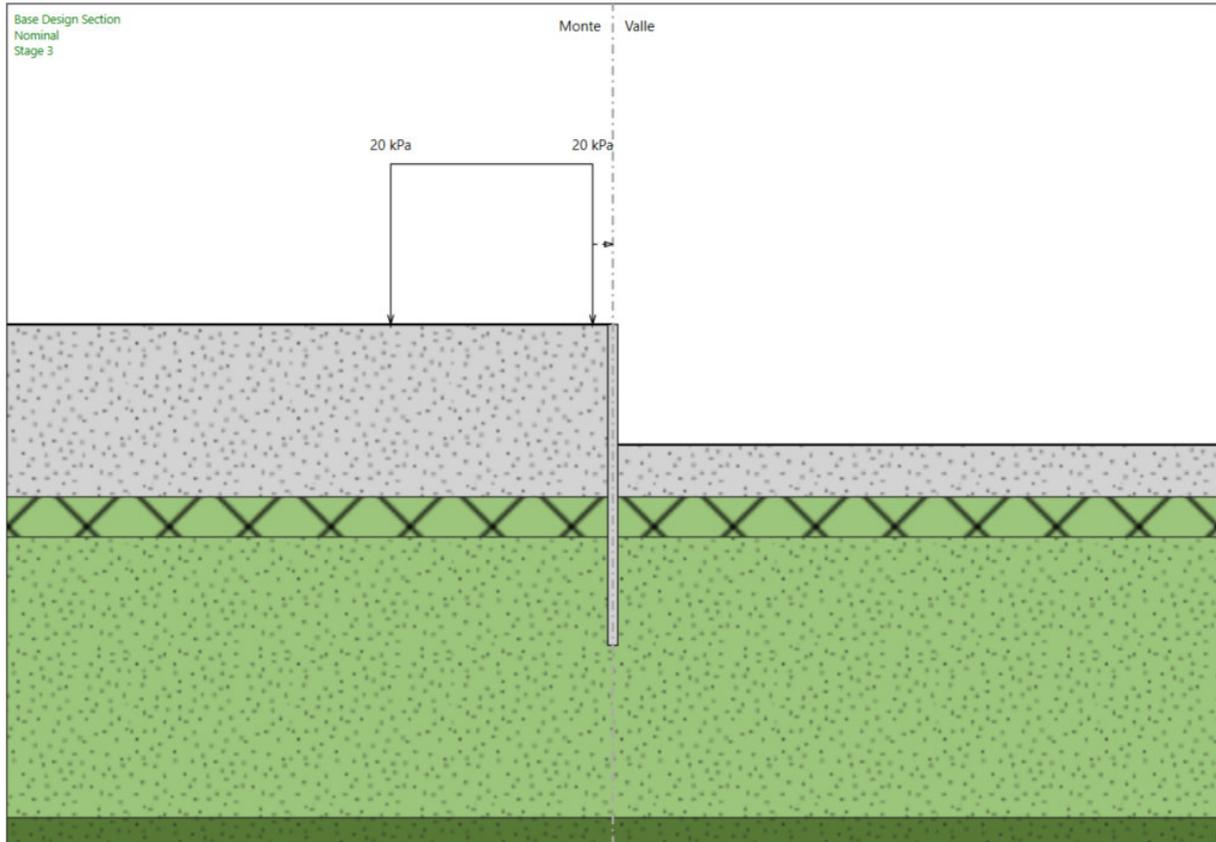


MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	24 di 30

Relazione di calcolo

3) Esecuzione scavo fino a quota z=-3m



MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	25 di 30

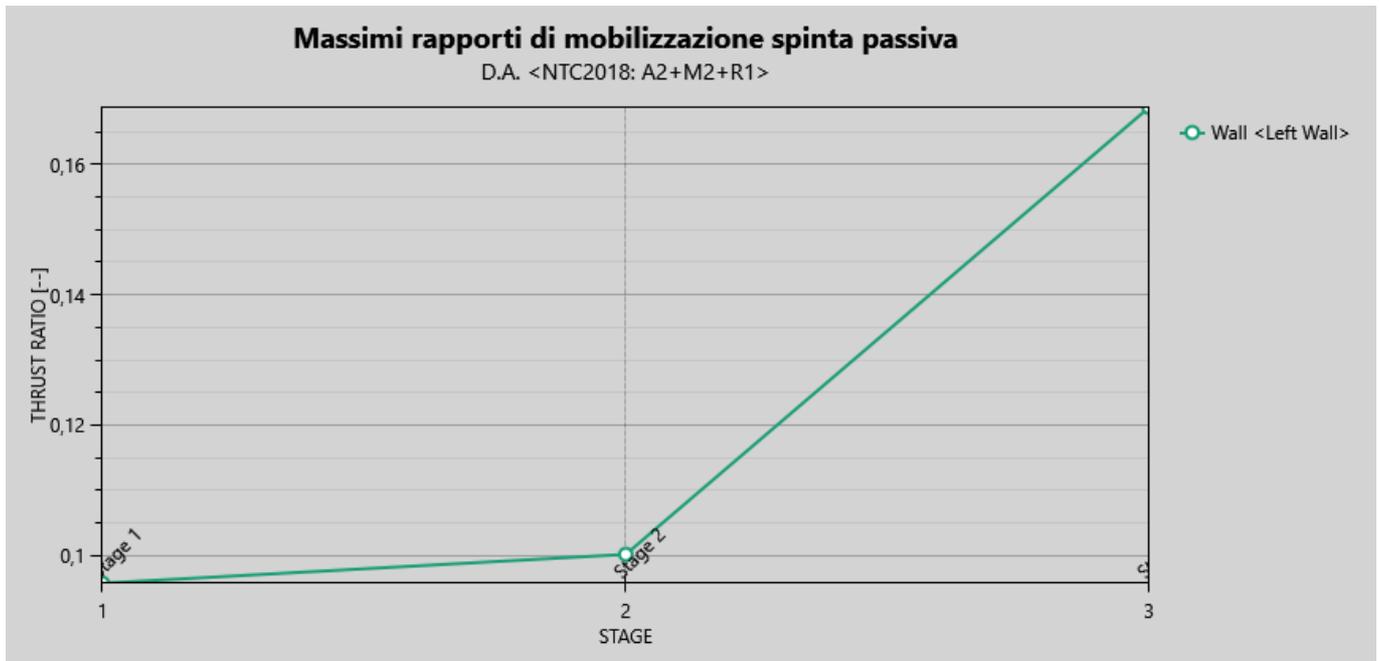
Relazione di calcolo

10.4 RISULTATI

10.4.1 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)	0.1	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 1)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.17	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 3)

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	26 di 30

Relazione di calcolo

10.4.2 Sollecitazioni

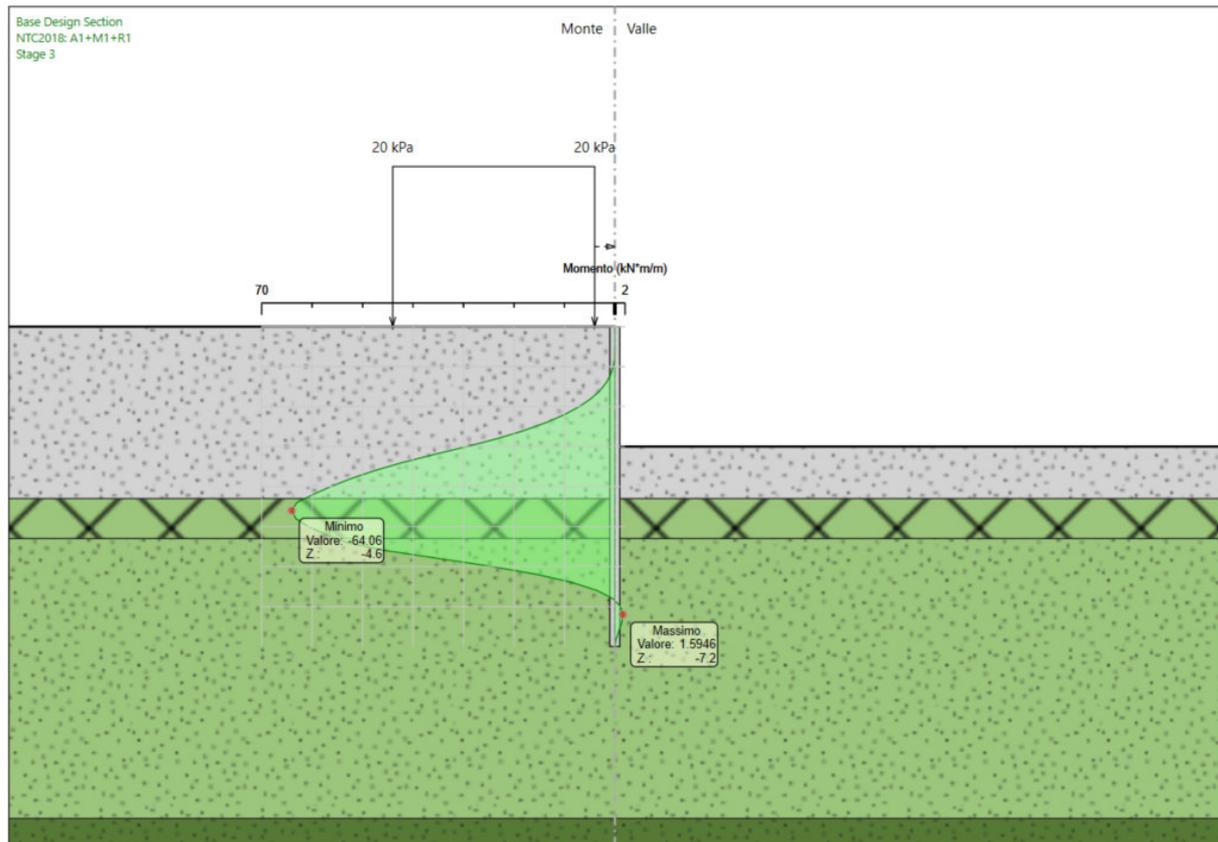


Figura 10-1: Momento in combinazione A1+M1+R1

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	27 di 30

Relazione di calcolo

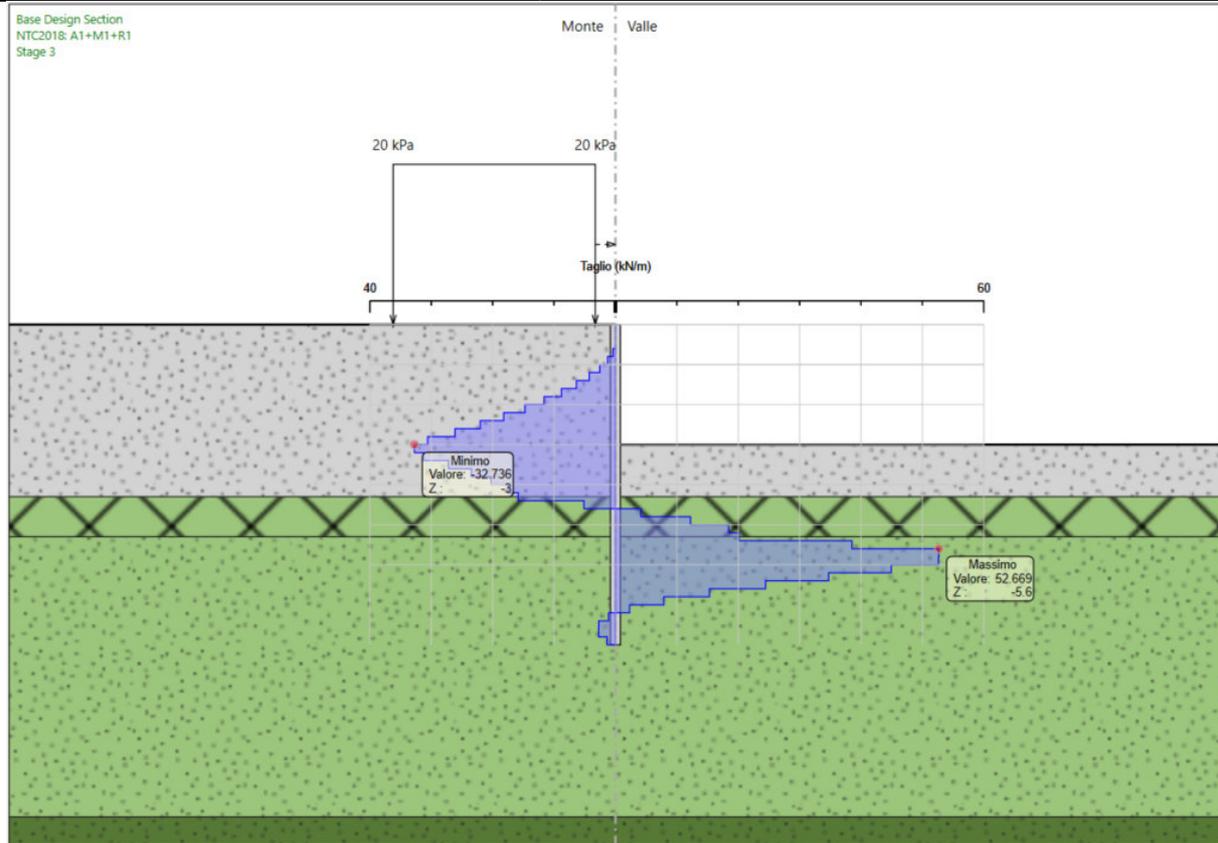


Figura 10-2: : Taglio in combinazione A1+M1+R1

10.4.3 Verifica a stabilità globale del complesso opera-terreno

Si esegue la verifica di stabilità dello scavo in condizioni statiche in quanto si tratta di una configurazione provvisoria.

Per le analisi in campo statico le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento ai coefficienti parziali A2 + M2.

Come dalle NTC2018, la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione $FS \geq R2=1.1$ è verificata in condizioni statiche.

L'analisi di stabilità globale è stata condotta con il metodo di Bishop con l'ausilio del software Paratie Plus 23 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.

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	28 di 30

Relazione di calcolo

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 H ▼

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

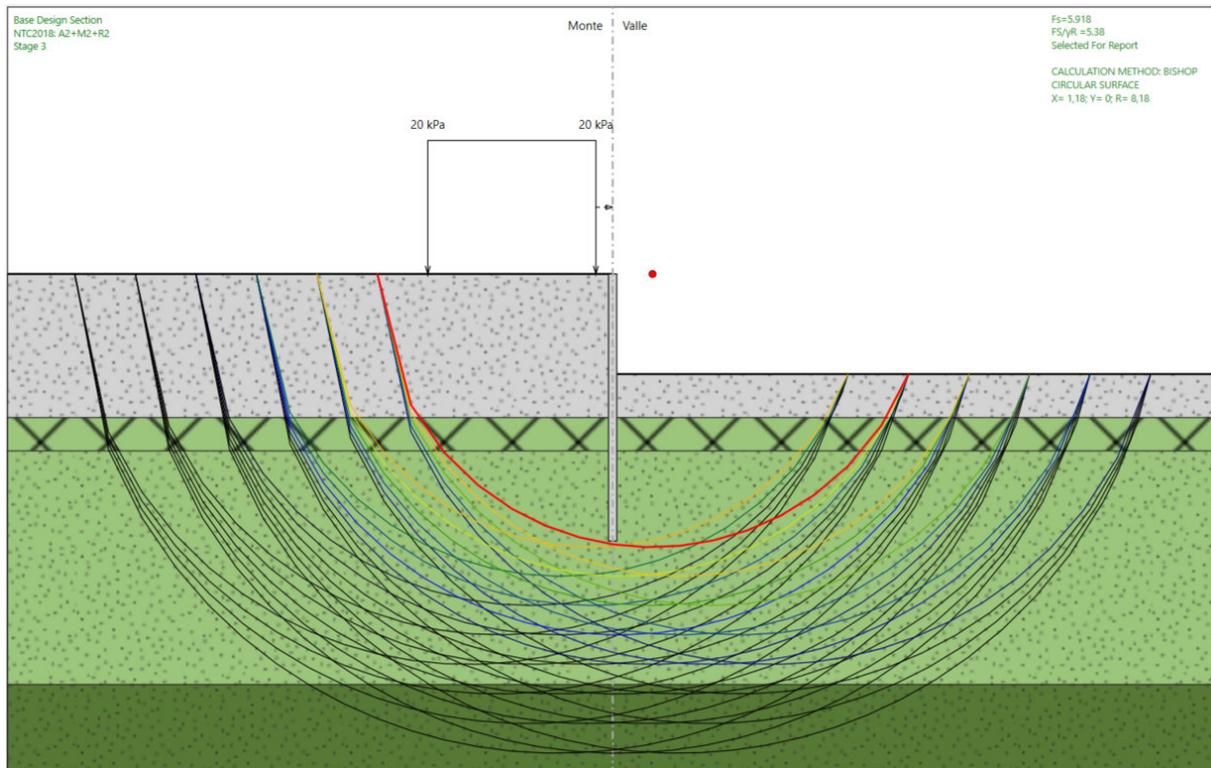
Intervalli

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



Il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a $FS^{\text{MIN}} = 5.92$.

Essendo $FS^{\text{MIN}} \geq R_2 = 1.1$, verifica di stabilità globale soddisfatta.

10.5 VERIFICHE STRUTTURALI

In Figura 10-3 viene riportata la classificazione della sezione di acciaio.

Diametro esterno nominale	D	168,30 [mm]
Spessore nominale	T	10,00 [mm]
Diametro interno nominale	d	148,30 [mm]
CARATTERISTICHE MECCANICHE		
Area della sezione trasversale	A	49,7 [cm ²]
Momento d'inerzia	I	1564 [cm ⁴]
Raggio d'inerzia	i	5,61 [cm]
Modulo di resistenza elastico	W _{el,yy}	186 [cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	251 [cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	4883 [cm ⁴]
Modulo di torsione	C _t	504 [cm ³]
CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE		
Valore di snervamento dell'acciaio	f _y	275 [MPa]
Coefficiente ε	ε	0,92 [-]
Classificazione		
Diametro	d	168,30 [mm]
Spessore	t	10,00 [mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	16,83 [-]
Classificazione della sezione		CLASSE 1

Figura 10-3: 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	3	64.06	-4.60	52.67	25.62	21.07

MU18 – PARATIE DI PROTEZIONE DEGLI SCAVI IN
CORRISPONDENZA DELLA SP210 AL KM 7+891

COMMESSA	REL	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 29 CL	MU1800001	A	30 di 30

Relazione di calcolo

VERIFICHE DI RESISTENZA per sezioni di classe 1,2

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

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

Sollecitazioni di progetto	$N_{ed} =$	0	KN
	$M_{ed} =$	25,62	KNm
	$V_{ed} =$	21,07	KN

Resistenze di calcolo	$N_{c,rd} =$	1302,48	KN
	$M_{c,rd} =$	65,72	KNm
	$V_{c,rd} =$	478,73	KN

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

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

Flessione $M_{ed}/M_{c,rd} = 0,38983 \leq 1$

Taglio $V_{ed}/V_{c,rd} = 0,04401 \leq 1$

Flessione e Taglio
 $M_{v,rd} = (1-\rho)M_{c,rd} = 65,72$ KNm

$M_{ed}/M_{v,rd} = 0,38983 \leq 1$

Presso-Flessione $n = N_{ed}/N_{c,rd} = 0$

$M_{N,rd} = 1.04M_{c,rd}(1-n^{1.7}) = 68,3488$ KNm

$M_{ed}/M_{N,rd} = 0,37484 \leq 1$

Presso-Flessione e Taglio

$M_{N,rd} = 1.04M_{v,rd}(1-n^{1.7}) = 68,3488$ KNm

$M_{ed}/M_{N,rd} = 0,37484 \leq 1$