

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

MU15 - PARATIA di protezione alla pk 6+924


Relazione di calcolo

SCALA:

-


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

IADR 00 D 29 CL MU1500 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  ITALFERR S.p.A. Divisione Ricerca e Sviluppo Dipartimento Tecnico e Progettuale Ufficio Studi e Progettazione

File: IADR00D29CLMU1500001A

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

INDICE


1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	MATERIALI.....	7
3.1	CALCESTRUZZO MAGRONE.....	7
3.2	CALCESTRUZZO	7
3.3	BOIACCA DI CEMENTO PER MICROPALI.....	7
3.4	ACCIAIO B450C.....	7
3.5	ACCIAIO S275 PER MICROPALI.....	8
3.6	ACCIAIO IN BARRE TIPO DYWIDAG PER ANCORAGGI PROVVISORI.....	8
3.7	VERIFICA S.L.E.....	8
	3.7.1 Verifiche alle tensioni	8
	3.7.2 Verifiche a fessurazione.....	9
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	11
4.1	TERRENO DI RILEVATO FERROVIARIO.....	12
5	CRITERI GENERALI DI VERIFICA DELLE OPERE	13
5.1	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLU) IN CONDIZIONI STATICHE.....	13
5.2	VERIFICHE GEOTECNICHE (SLE) IN CONDIZIONI STATICHE.....	14
5.3	VERIFICHE ANCORAGGI (CHIODATURE).....	14
6	ANALISI DEI CARICHI.....	17

MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00D29	CL	MU1500001	A	2 di 30

Relazione di calcolo

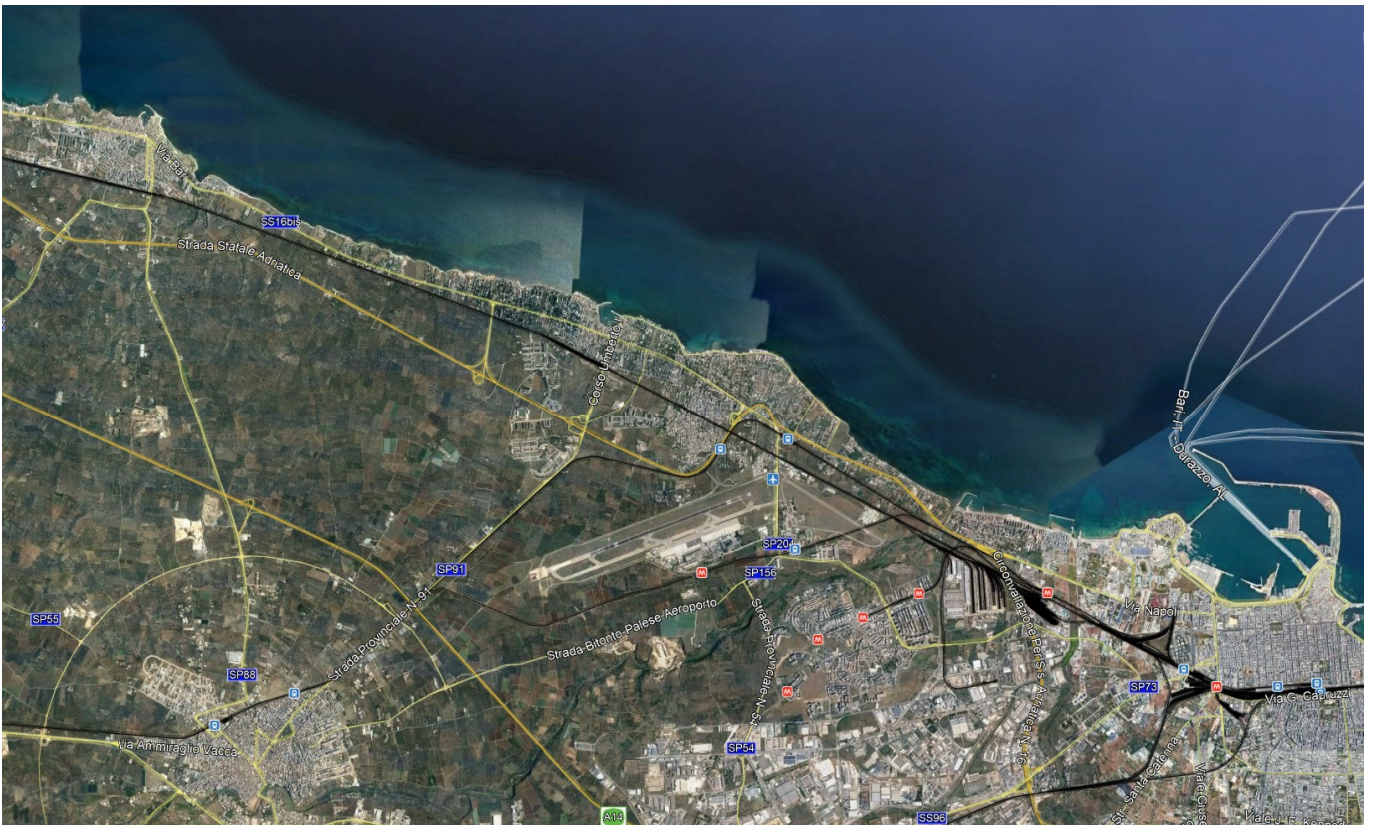
6.1	CARICHI PERMANENTI	17
6.1.1	<i>Spinta del terreno</i>	17
6.2	CARICHI VARIABILI	17
6.2.1	<i>Carico ferroviario</i>	17
7	COMBINAZIONI DI CARICO.....	18
8	PROGETTO E VERIFICA PARATIA MU12	20
8.1	DATI DI INPUT	20
8.2	FASI DI CALCOLO	21
8.3	RISULTATI DELLE ANALISI	24
8.3.1	<i>Verifica spostamenti</i>	25
8.4	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	26
8.4.1	<i>Verifica stabilità Globale</i>	26
8.5	VERIFICHE STRUTTURALI.....	27
8.6	VERIFICHE CHIODATURE.....	28
8.7	INCIDENZA CORDOLO.....	30

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo	IADR	00D29	CL	MU1500001	A	3 di 30

1 PREMESSA

Nel presente documento si riportano le analisi e le verifiche geotecniche e strutturali della paratia provvisoria MU15 in prossimità della pk 6+924, redatta nell'ambito del Progetto definitivo della Variante di tracciato tra Palese e Santo Spirito.

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.



La paratia provvisoria in oggetto è posta in corrispondenza della progressiva pk 6+924.

L'opera di sostegno è costituita da micropali di lunghezza 9.0m con diametro di perforazione pari a 250mm e posti a passo 40cm provvisti di armatura tubolare cava $\phi 168.3/10$ in acciaio S275.

MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00D29	CL	MU1500001	A	4 di 30

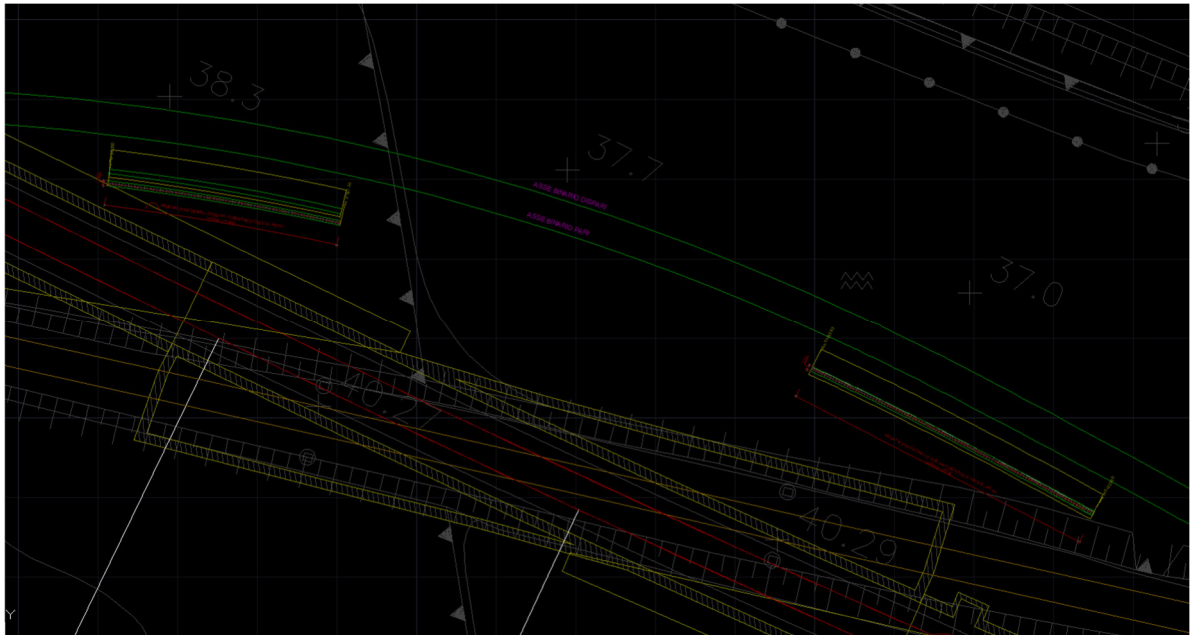


Fig. 1 – Planimetria – MU15

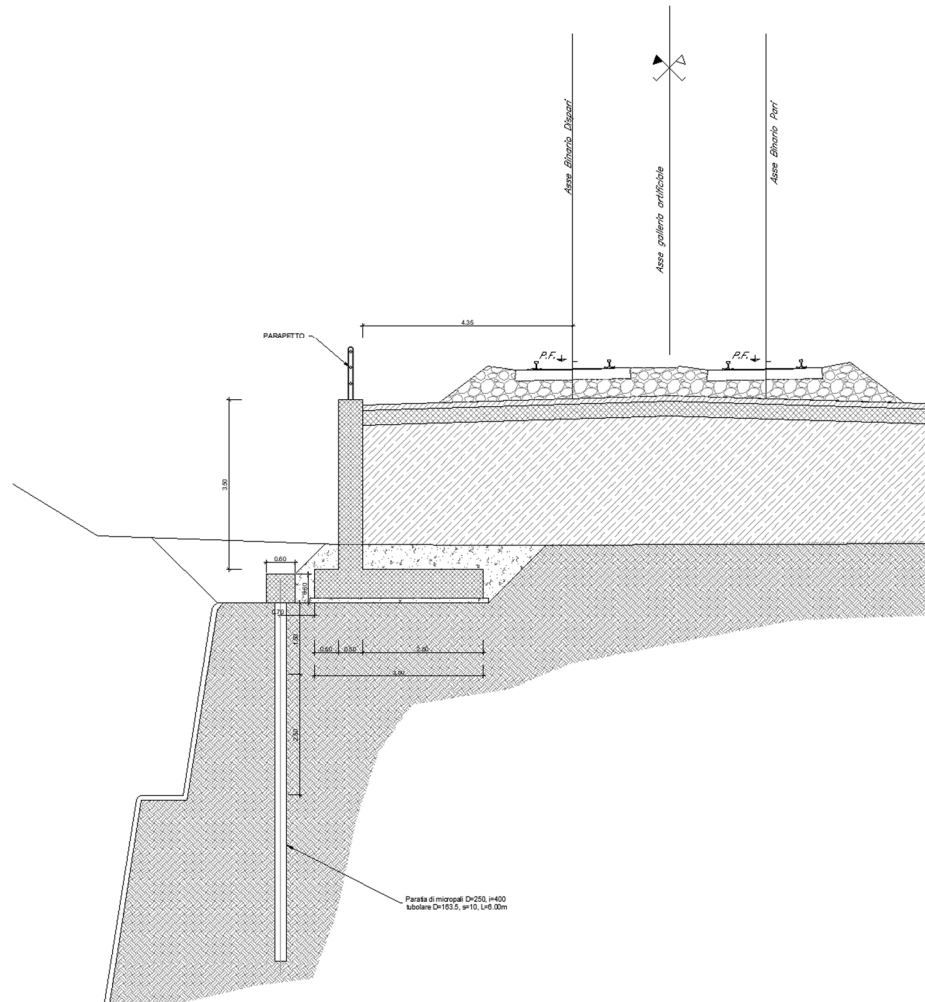


Fig. 2 – Sezione trasversale dell'opera

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo	IADR	00D29	CL	MU1500001	A	6 di 30

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- [N.1] Legge 5/11/1971, n.1086 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica.
- [N.2] D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [N.3] CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [N.4] RFI DTC SICS MA IFS 001 E – Revisione E del Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N.5] RFI DTC SICS SP IFS 001 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [N.6] 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° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019.
- [N.7] Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2
- [N.8] Delibera della giunta regionale Regione Lazio n.793 del 5 novembre 2020.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

3 MATERIALI

Il calcestruzzo adottato corrisponde alla Classe C32/40, mentre l'acciaio in barre ad aderenza migliorata corrisponde alla classe B450C. Di seguito vengono elencate le specifiche.

3.1 Calcestruzzo magrone

Conglomerato classe di resistenza C12/15 – Rck 15MPa

Resistenza caratteristica cubica:	Rck = 15 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica:	fck = 12 N/mm ²
Classe di esposizione:	X0

3.2 Calcestruzzo

Conglomerato classe di resistenza C32/40 – Rck 40MPa

Conforme alla UNI EN 206-1

Classe di esposizione	XC4, XS1
Rck (UNI EN 206-2016)	>= 40 MPa
Classe di resistenza	C32/40
Tipo cemento	CEM III-V
Dimensione max aggregati	25 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo	50 mm

3.3 Boiacca di cemento per micropali

Classe di resistenza C25/30 – Rck 30MPa

Rck	>= 30 MPa
Classe di resistenza	C25/30
Tipo cemento	CEM III-V

3.4 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:	f _{yk} = 450 MPa;
---	----------------------------

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

Tensione di progetto: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$

in cui $\gamma_m = 1.15$ $f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa};$

Modulo Elastico $E_s = 210'000 \text{ MPa}.$

3.5 Acciaio S275 per micropali

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 275 \text{ MPa};$

Tensione di progetto: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$

in cui $\gamma_{M1} = 1.05$ $f_{yd} = 275 / 1.05 = 261.9 \text{ MPa};$

Modulo Elastico $E_s = 210'000 \text{ MPa}.$

3.6 Acciaio in Barre tipo Dywidag per ancoraggi provvisori

Acciaio: Y800

Tensione caratteristica di rottura: $f_{ptk} = 800 \text{ MPa};$

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{pyk} = 670 \text{ MPa};$

Tensione di progetto: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$

in cui $\gamma_m = 1.15$ $f_{yd} = 670 / 1.15 = 582.6 \text{ MPa};$

Modulo Elastico $E_s = 195'000 \text{ MPa}.$

3.7 Verifica S.L.E.

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato

3.7.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente a trazione" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

Ferrovie, quelli indicati nel documento “RFI DTC SI PS MA IFS 001 E Manuale di Progettazione Delle Opere Civili Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture” che ne risulta l’aggiornamento (Vedi cap. 2.5 manuale), ovvero:

Strutture in c.a.

Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara): $0,55 f_{ck}$;
- per combinazioni di carico quasi permanente: $0,40 f_{ck}$;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare $0.75 f_{yk}$

3.7.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l’ampiezza dell’apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all’aggressività ambientale e alla sensibilità dell’acciaio, l’apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

Tabella 1: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione e Condizioni Ambientali

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Risultando:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Alle prescrizioni normative presenti in NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal “*Manuale di Progettazione delle Opere Civili*” secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l’apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

– Combinazione Caratteristica (Rara) $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$




Riguardo infine il valore di calcolo delle fessure da confrontare con i valori limite fissati dalla norma, si è utilizzata la procedura del D.M. 17.1.2018, in accordo a quanto previsto al punto” C4.1.2.2.4.6 Verifica allo stato limite di fessurazione” della Circolare n.7/19.


4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica.

Si riportano di seguito i terreni su cui poggiano i muri di sostegno lungo il tracciato, con i parametri fisici e meccanici ad essi assegnati.

Tabella 2 – Caratteristiche geotecniche delle unità stratigrafiche del sito

Unità Geotecnica		γ	φ'	c'	C_u	GSI	σ_{ci}	m_i	E_{op}	k
		(kN/m ³)	(°)	(kPa)	(kPa)		(MPa)		(MPa)	(m/s)
	TC	19.0	28-30	0-5	-	-	-	-	10	-
	CAL	20.0	35-37	0-10	-	-	-	-	50	1E-03 ÷ 1E-05
	Calt									
	LA	19.0	24-28	10-20	20-50	-	-	-	5-15	1E-05 ÷ 1E-07
	C1a *	24.0	43	40	-	30	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-06
	C1b *	24.0	41	20	-	20	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-06
	C1c*	24.0	43	50	-	35	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-06
	C1d*	24.0	43	70	-	40	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-06
	C2a*	24.0	43	80	-	30	70	9	1000	1E-04 ÷ 1E-06
	C2b*	24.0	43	100	-	35	70	9	1000	1E-04 ÷ 1E-06
	C2c*	24.0	43	130	-	40	70	9	1000	1E-04 ÷ 1E-06
<p>*C1c e C2c da pk 0 a 2+250, C1a e C2b da pk 2+250 a 5+850, *C1b e C2a da pk 5+850 a 8+100 e C1d e C2c da pk 8+100 a fine intervento;</p>										
<p>γ = peso specifico; c' = coesione m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta; k = permeabilità.</p>						<p>φ' =angolo d'attrito GSI = Geological Strength Index; E= modulo di rigidezza;</p>				

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A	FOGLIO 12 di 30

4.1 Terreno di rilevato ferroviario

Per il materiale relativo al rilevato ferroviario si assumono i seguenti parametri:

- peso volume, $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$;
- angolo d'attrito, $\varphi' = 38^\circ$;
- coesione efficace $c' = 0 \text{ kPa}$.

La falda idrica non interferisce con l'opera in esame ed è considerata a 30 m dal p.c.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo	IADR	00D29	CL	MU1500001	A	13 di 30

5 CRITERI GENERALI DI VERIFICA DELLE OPERE

Nel seguente capitolo si riporta una descrizione riguardante procedure e criteri di calcolo adottati per l'effettuazione di tutte le verifiche prescritte dalla normativa vigente.

5.1 Verifiche geotecniche (SLU) in condizioni statiche

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

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi,
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Per le strutture di sostegno flessibili si adotta l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 17/01/2018):

- combinazione 1: A1 + M1 + R1
- combinazione 2: A2 + M2 + R1.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1); per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata invece condotta con la combinazione 1 (A1+M1+R1).

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 di:

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

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

Per le verifiche di stabilità globale è stato applicato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2 – tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 17/01/2018).

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

5.2 Verifiche Geotecniche (SLE) in condizioni statiche

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, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

5.3 Verifiche ancoraggi (Chiodature)

Gli Stati Limite Ultimi per questa tipologia di opere si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e del raggiungimento della resistenza dei materiali strutturali da cui sono composti.


Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare verificata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

con specifico riferimento allo stato limite di sfilamento dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione è da effettuarsi con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, utilizzando per i coefficienti A1 ed M1 i valori riportati nelle Tab. 6.2.I e Tab 6.2.II del DM 17/01/2018 e per le resistenze i valori riportati in Tab. 6.6.I del DM17/01/2018.

La verifica a sfilamento della dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto (E_d) con la resistenza di progetto R_{ad} , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{sk} i coefficienti parziali γ_R riportati nella tabella precedente, in funzione del tipo di ancoraggio.

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio è stato determinato utilizzando metodi analitici, pertanto il valore di questa deve essere assunto come il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} riportati in Tab. 6.6.II del DM 17/01/2018, in funzione del numero di verticali di indagine che consentono la completa identificazione del modello geotecnico del sottosuolo per il terreno interessato dalle fondazioni degli ancoraggi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo	IADR	00D29	CL	MU1500001	A	15 di 30

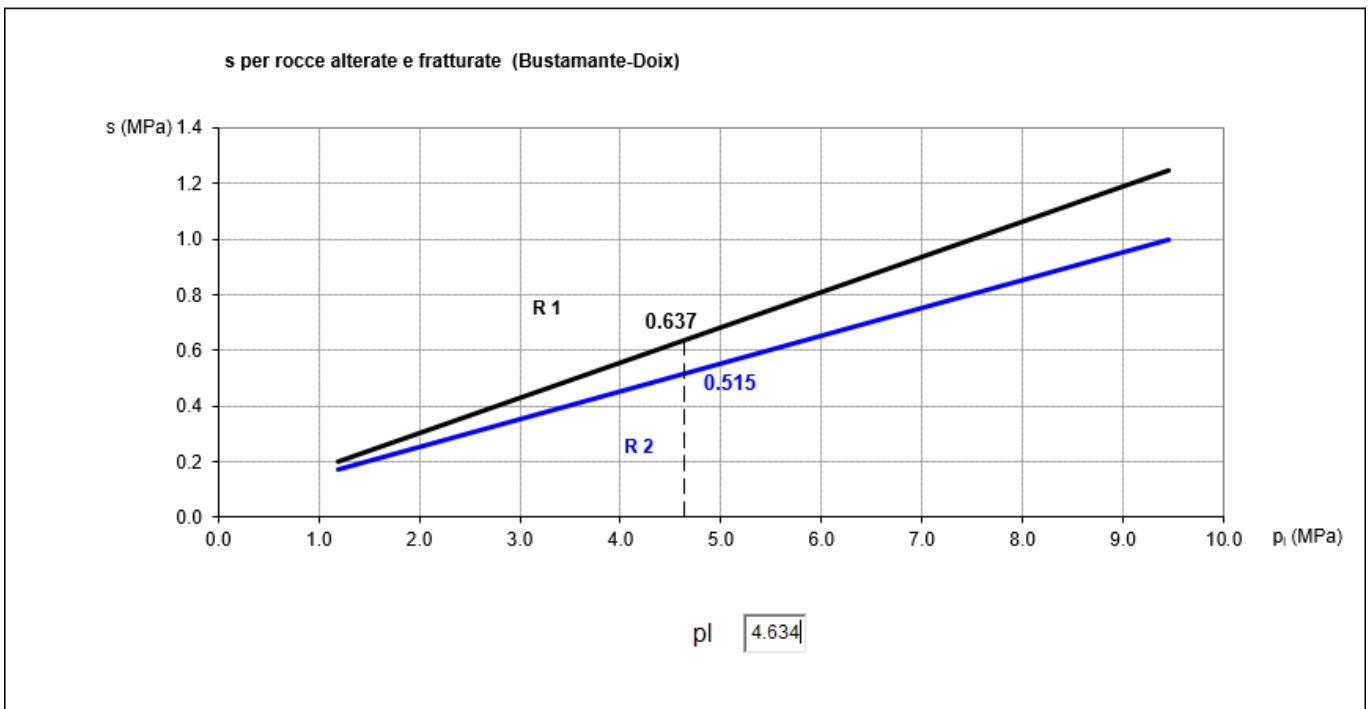
Nella valutazione analitica della resistenza allo sfilamento degli ancoraggi, inoltre, si fa riferimento ai coefficienti parziali di sicurezza del terreno M1 (pertanto non vengono ridotte le caratteristiche dei terreni in cui le fondazioni degli ancoraggi verranno realizzate).

I valori di adesione laterale sono stati stabiliti in funzione del valore della pressione limite netta P'l ricavata da prove dilatometriche, i cui valori sono riportati nella tabella seguente considerando i risultati dei sondaggi per profondità fino a 8.0m dal p.c..

Tabella 3 – Valori di P'l da prove dilatometriche

Sondaggio	Prof.	P'l
	m	Mpa
GA01_25	7.50	5.625
GA05-2_30	6.00	4.634
TR08_20	4.50	5.794
TR07_14	8.00	5.092
TR01_20	4.00	4.929
GA03_30	8.00	5.079
GA02_30	8.00	5.640
	min	4.634
	med	5.256

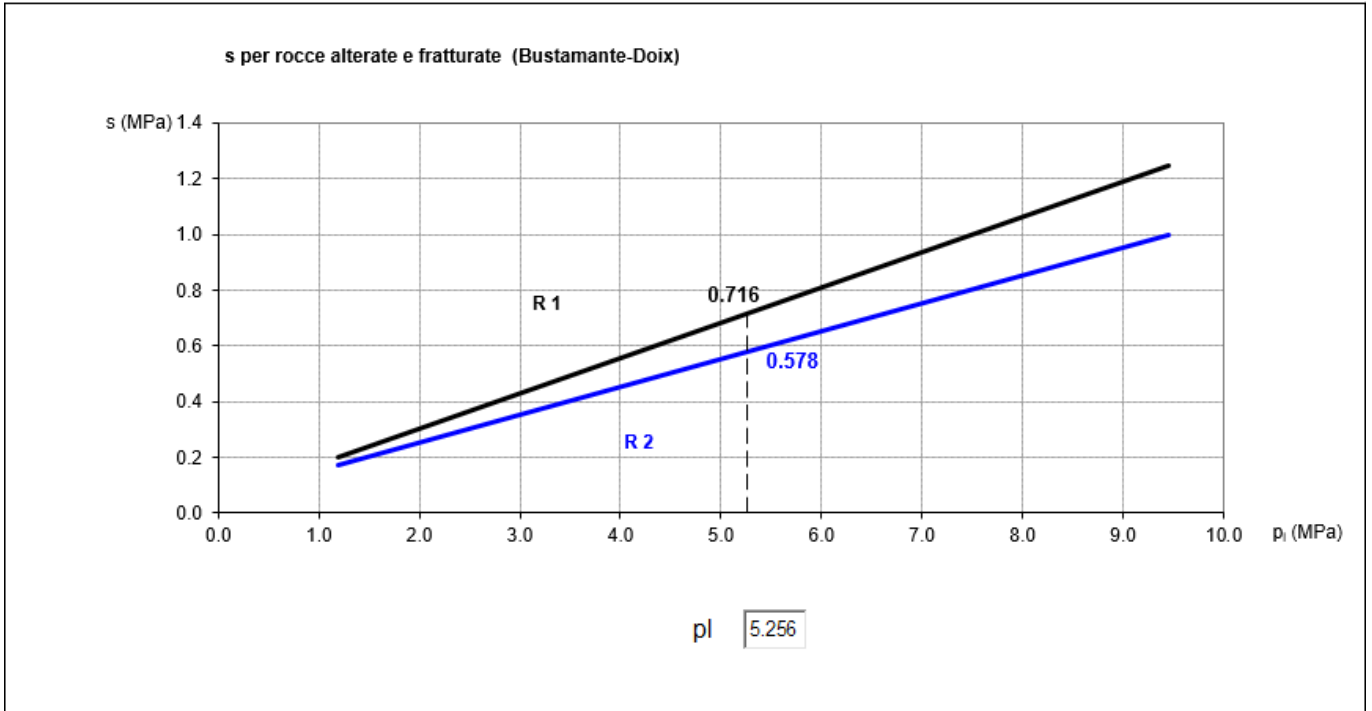
Nelle figure seguenti si riportano gli abachi per la tensione di adesione laterale relativa alle rocce alterate e fratturate:



MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00D29	CL	MU1500001	A	16 di 30

Relazione di calcolo



Si assume quindi:

$\tau_{s \text{ med}}$ = tensione di adesione media = 0.578 (MPa)

$\tau_{s \text{ min}}$ = tensione di adesione minima = 0.515 (MPa)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

6 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 della paratia, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

6.1 Carichi Permanenti

6.1.1 Spinta del terreno

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie, 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 .

6.2 Carichi Variabili

6.2.1 Carico ferroviario

Considerando la posizione e la larghezza di ripartizione del carico ferroviario, si ottiene che questo sia pari a un carico equivalente uniformemente distribuito pari a 20 kN/mq agente a tergo della paratia.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si è fatto riferimento alle seguenti combinazioni delle azioni.

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

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

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

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

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, utilizzata nella verifica 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 stati limite di esercizio (SLE) 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, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

dove:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$$

avendo indicato con E_Y e E_Z rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

Per le verifiche si deve tenere conto dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze.

Tabella 4: Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{Gk}

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

Tabella 5: 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

Tabella 6: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Le combinazioni sismiche, in maniera del tutto analoga alle combinazioni statiche, sono effettuate con l'approccio 2, ponendo però pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R indicati nella seguente tabella.

In condizioni sismiche, il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico ferroviario, da utilizzare tanto nelle verifiche agli stati limite ultimi che di esercizio, dovrà essere posto pari a 0.2 come da MdP §3.8.1.3.4.3.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione di calcolo	IADR	00D29	CL	MU1500001	A	20 di 30

8 PROGETTO E VERIFICA PARATIA MU12

Nel seguito verrà esaminata una striscia di paratia avente lunghezza di 1.00 m. In figura si riporta schematicamente la geometria dell'opera.

8.1 Dati di input

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche dell'opera adottate nelle analisi.


Tabella 7: Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo.

Tipologia struttura di sostegno	micropali $\phi 250$ ad interasse 0.40 m
Altezza totale paratia	$H_{tot} = 9.00$ m (h micropalo)
Altezza di scavo di progetto	$H = 5.0$ m
Altezza di scavo di calcolo (da intradosso cordolo)	$H = 9.0$ m con due ordini di chiodature
Inclinazione terreno a monte	0.0°
Sovraccarichi permanenti	$g = 0.0$ kPa
Sovraccarichi accidentali a monte	$q = 20.0$ kPa

Tabella 8: Stratigrafia di calcolo.

Terreni	c' [kPa]	ϕ' [°]	Terreno	Quota
Rilevato Sabbia/Ghiaia	0	35	Rilevato	1.5
Calcareniti Sabbia/Ghiaia	5	35	Calcareniti	0
Calcari_H4 Sabbia/Ghiaia	43	43	Calcari_H4	-1.5
Calcari_H8 Sabbia/Ghiaia	60	43	Calcari_H8	-4
Calcari_H12 Sabbia/Ghiaia	122	43	Calcari_H12	-8
Calcari_H15 Sabbia/Ghiaia	135	43	Calcari_H15	-12

Strato di Terreno	Terreno	γ dry kN/m ³	γ sat kN/m ³	ϕ' °	ϕ_{cv} °	ϕ_p °	c' kPa	Su kPa	Modulo Elastico Eu	Evc kPa	Eur kPa
1	Rilevato	19	19	38			0		Constant	30000	48000
2	Calcareniti	20	20	35			5		Constant	50000	80000
3	Calcari_H4	24	24	43			43		Constant	100000	160000
4	Calcari_H8	24	24	43			60		Constant	100000	160000
5	Calcari_H12	24	24	43			122		Constant	100000	160000
6	Calcari_H15	24	24	43			135		Constant	100000	160000

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

8.2 Fasi di calcolo

Nel programma di calcolo Paratie Plus sono state implementate le seguenti fasi di calcolo:

- 1) Stato di fatto
- 2) Realizzazione opera e scavo a quota primo ordine chiodature (sovraccarico accidentale attivo).
- 3) Realizzazione primo ordine chiodature simulate come vincoli elastici di rigidezza pari a $k=EA/L/int=7000$ kN/m.
- 4) Scavo a quota secondo ordine chiodature.
- 5) Realizzazione primo ordine chiodature simulate come vincoli elastici di rigidezza pari a $k=EA/L/int=7000$ kN/m.
- 6) Scavo finale ipotizzato fino al piede paratia in modo da non considerare la spinta passiva dovuta al tratto infisso .

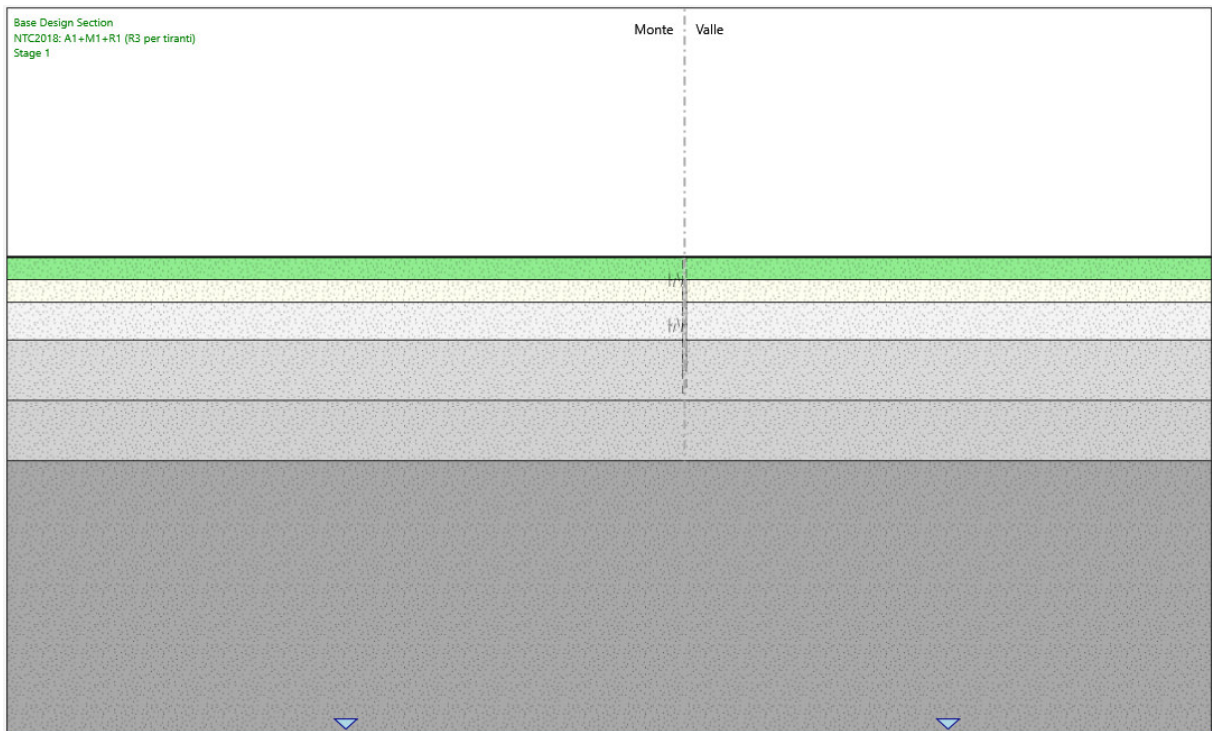


Fig. 3 – Stato di fatto

MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00D29	CL	MU1500001	A	22 di 30

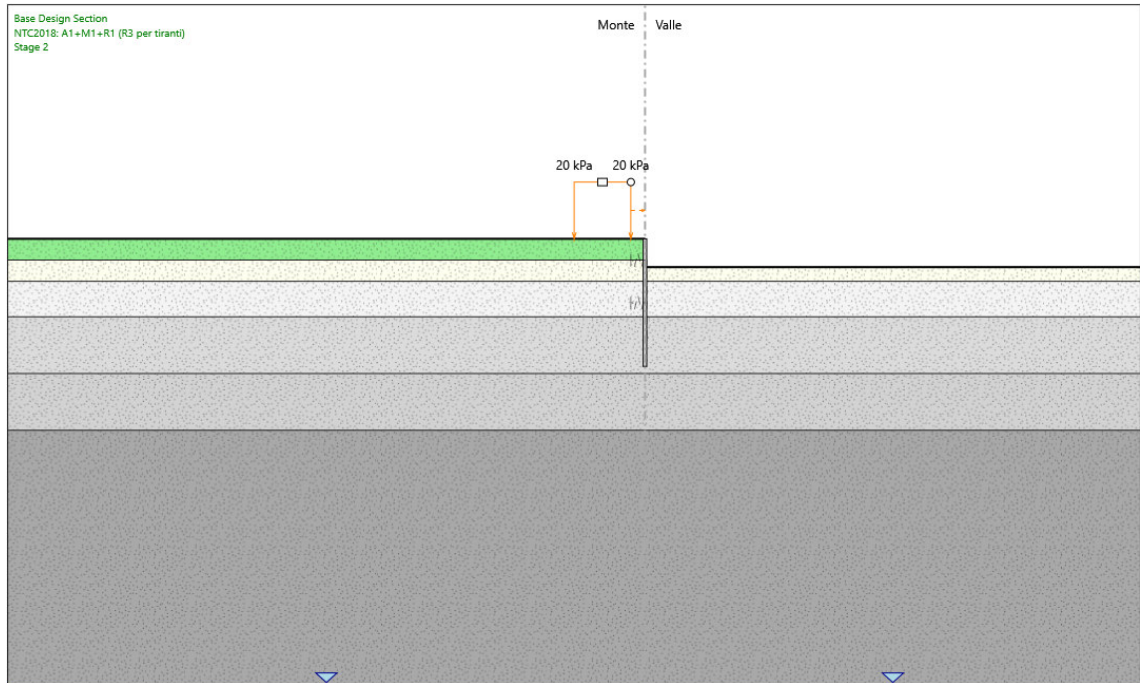


Fig. 4 – Realizzazione Paratia e scavo a quota primo ordine chiodature a -2.0m da p.c.

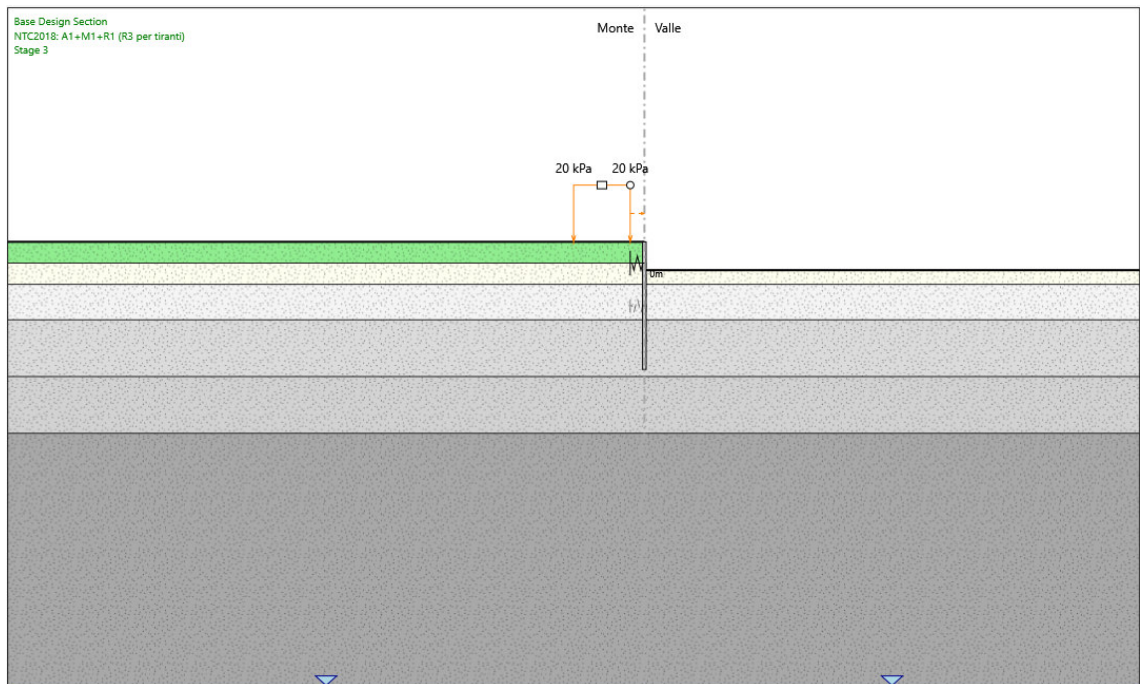


Fig. 5 – Realizzazione primo ordine chiodature.

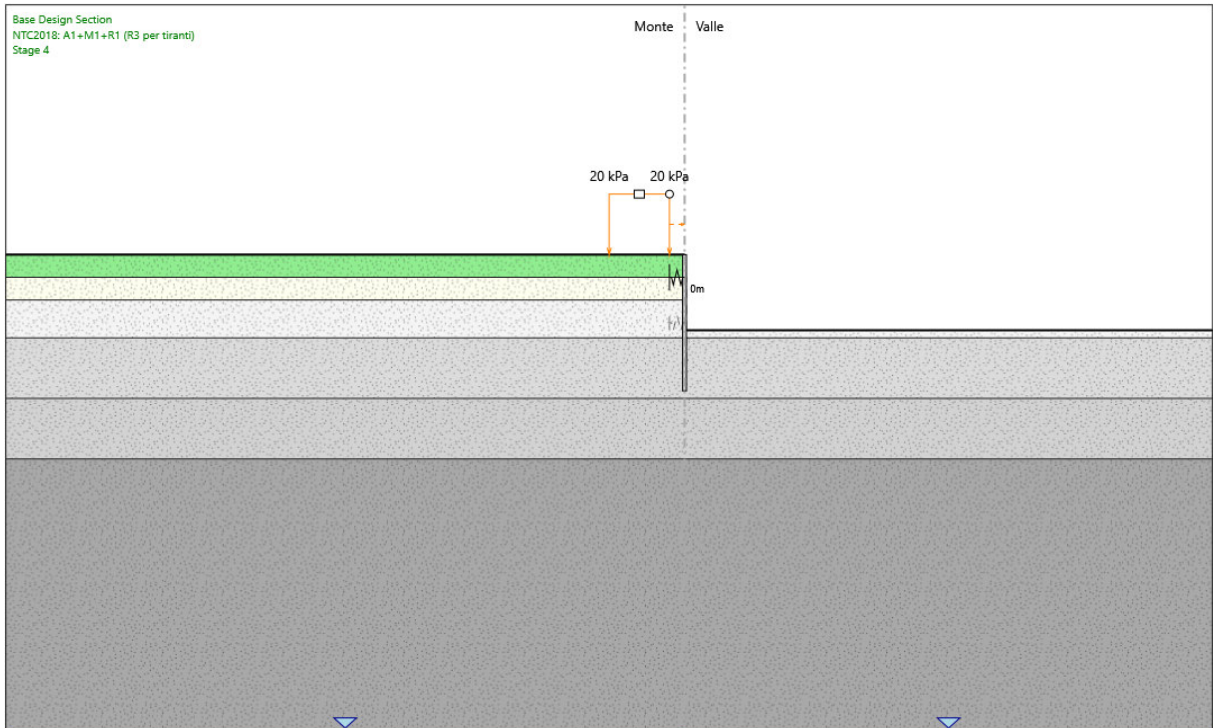


Fig. 6 – Scavo a quota secondo ordine chiodature a -5.0m da p.c.

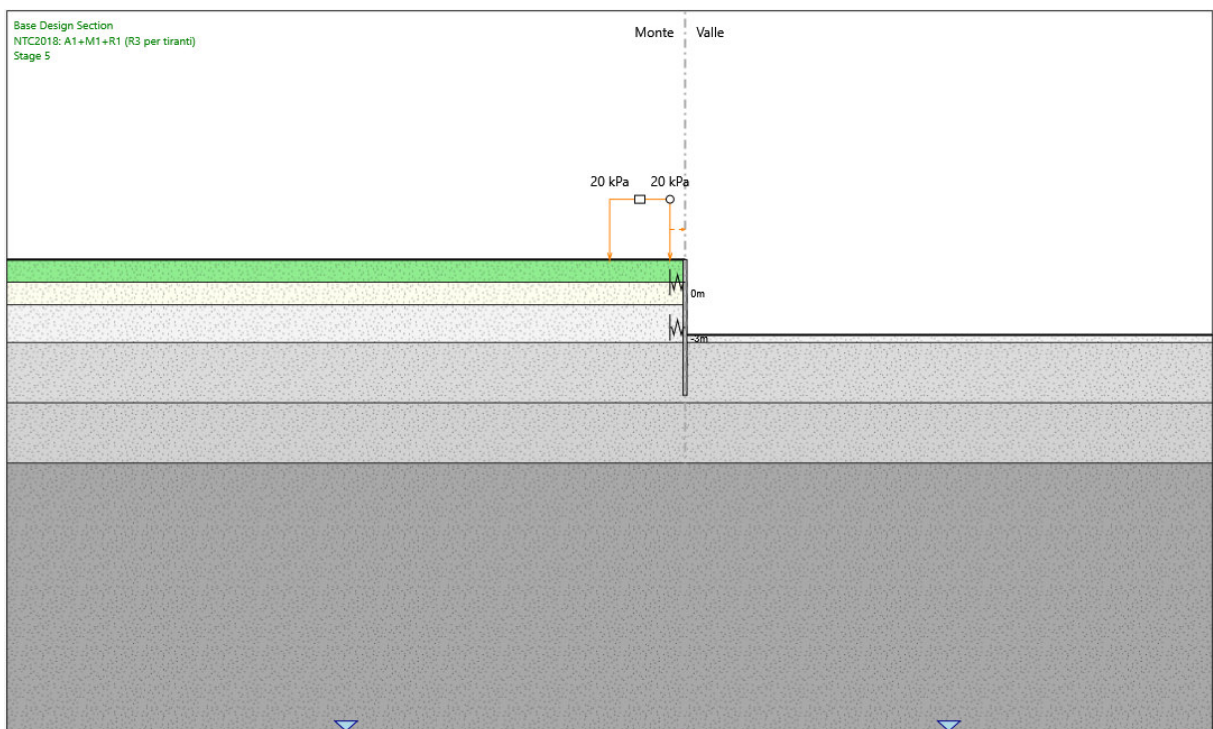



Fig. 7 – Realizzazione secondo ordine chiodature.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

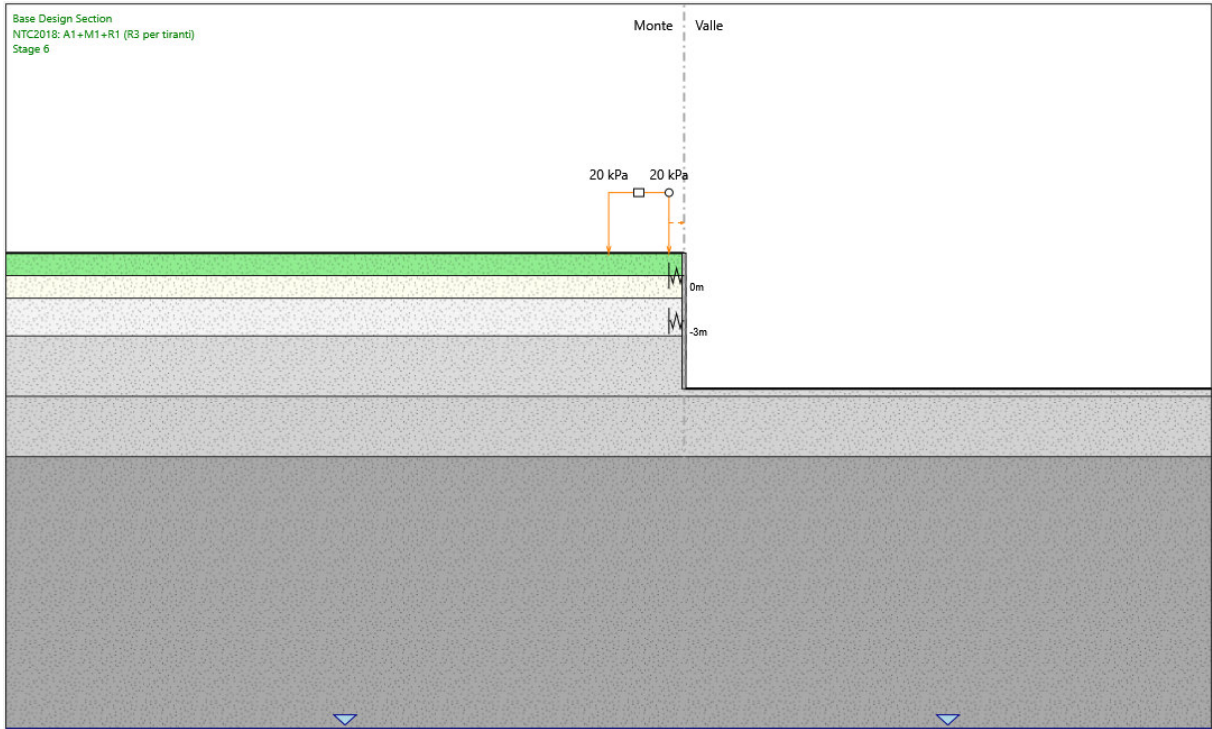


Fig. 8 – Scavo a quota massima ipotizzata.

8.3 Risultati delle analisi

A seguire si riportano i diagrammi delle sollecitazioni ottenuti dalle analisi.

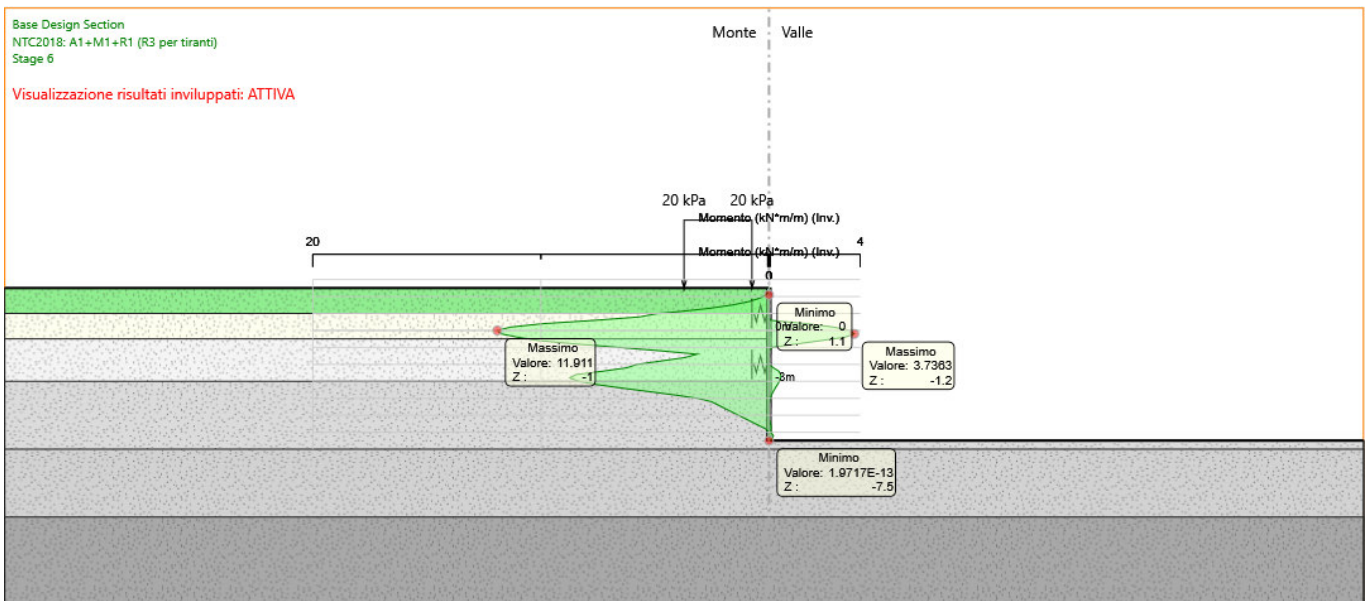


Fig. 9 – Momento flettente allo SLU – Comb.A1+M1.

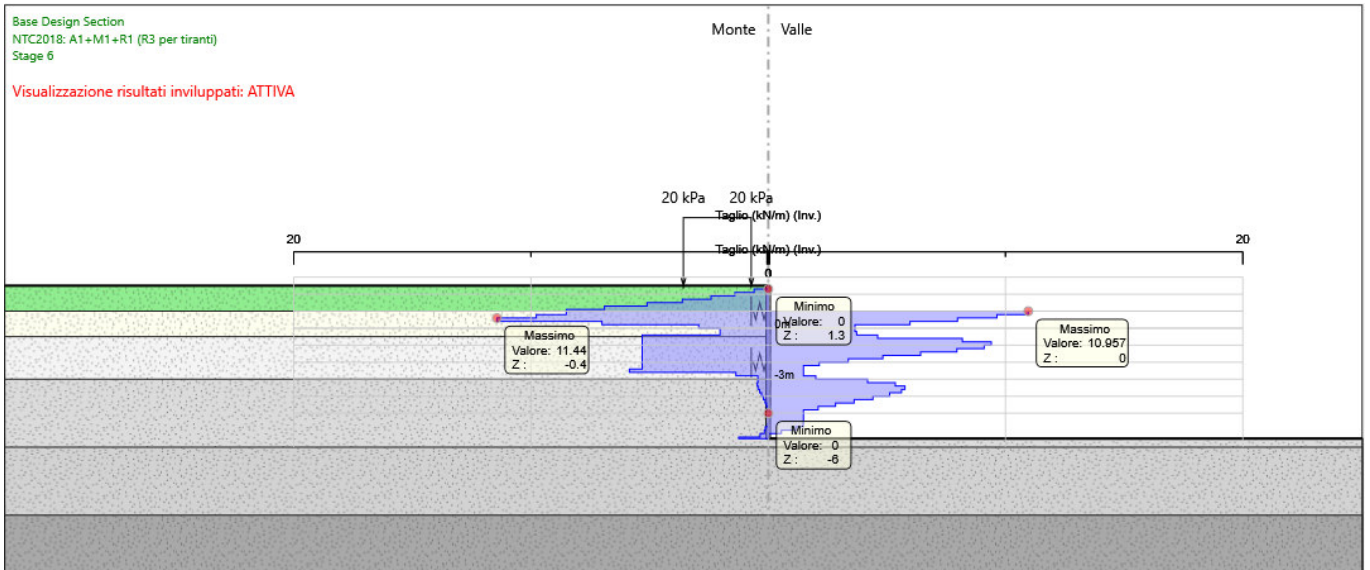


Fig. 10 – Sforzo di taglio allo SLU – Comb.A1+M1.

8.3.1 Verifica spostamenti.

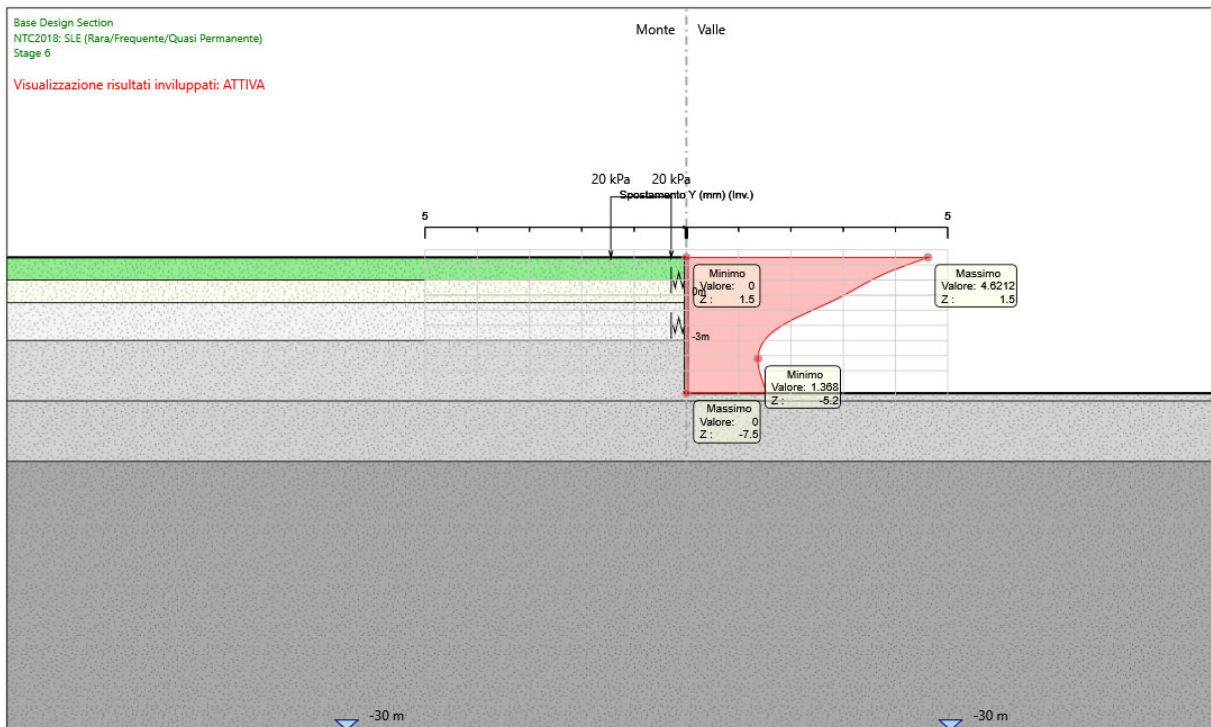



Fig. 11 – Spostamenti - stage 2 – Comb. SLE.

Gli spostamenti pari a 4.62mm sono compatibili con la stabilità dell'opera.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

8.4 Verifiche Geotecniche

8.4.1 Verifica stabilità Globale

Per le verifiche di stabilità, si ricorre, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite, ai cosiddetti metodi delle strisce. Le ipotesi alla base di questi metodi sono:

- stato di deformazione piano;
- arco della superficie di scorrimento alla base del concio approssimabile con la relativa corda;
- comportamento del terreno rigido-perfettamente plastico e criterio di rottura di Mohr-Coulomb;
- coefficiente di sicurezza FS uguale per la componente di coesione e per quella di attrito e unico per tutti i conci.

I diversi metodi poi differiscono sulle ipotesi semplificative necessarie a rendere il problema determinato; nelle analisi effettuate si è fatto riferimento al metodo di Morgenstern & Price.

Condizioni statiche $F_s = 2.289$

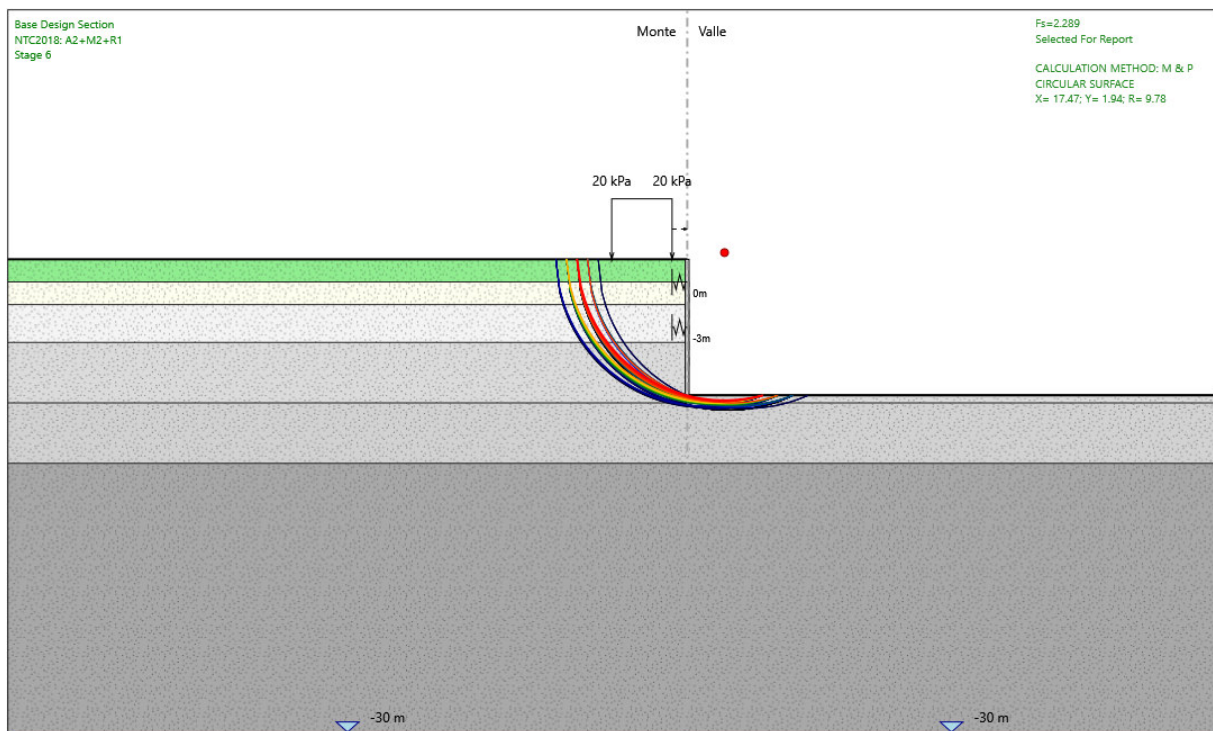



Fig. 12 – Superfici critiche analizzate

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A

8.5 Verifiche strutturali

Si riportano di seguito le sollecitazioni a metro lineare di paratia e quelle per il singolo micropalo.

Tabella 9: Riepilogo sollecitazioni.

	Sollecitazioni a metro lineare			Sollecitazioni sul singolo palo		
	M _{max} (kNm/m)	z (M _{max}) da testa palo (m)	V _{max} (kN/m)	N (kN)	M _{max} (kNm)	V _{max} (kN)
SLE	9.00	1.0	-	1.2	3.6	
SLU	11.91	1.0	11.4	1.6	4.8	4.6
SLV	-	-	-	-	-	-

VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE														
Dati INPUT				Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio				Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10219 S 275 H			Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
f _{yk} =	275	[Mpa]		D	T	1	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	M	As	L/1t
f _{tk} =	430	[Mpa]		[mm]	[mm]		[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[kg/m]	[m ² /m]	[m]
				168.3	10.0		49.73	1563.98	5.61	185.86	250.92	39.04	0.53	25.62
Geometria sezione				Verifiche secondo NTC2018 - §4.2										
D =	168.3	[mm]		Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)			N _{pl,Rd} =	1302.49	N _{Ed} / N _{pl,Rd} =					
t =	10.0	[mm]		Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)			N _{c,Rd} =	1302.49	N _{Ed} / N _{c,Rd} =		0.00		verifica soddisfatta	
Lunghezza e vincoli asta				Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)			M _{c,Rd} =	65.72	M _{y,Ed} / M _{c,Rd} =		0.07		verifica soddisfatta	
L =	6.00	[m]		Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)			V _{c,Rd} =	478.73	V _{Ed} / V _{c,Rd} =		0.01		verifica soddisfatta	
β =	1.00	[-]		Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)			Sez. Classe 1-2 M _{N,Rd} =	65.72	M _{Ed} / M _{N,Rd} =		0.07		verifica soddisfatta	
N _{Ed} =	-1.60	[kN]					Sez. Classe 3 σ _{x,Ed} =		f _{yd} =					
V _{Ed} =	4.60	[kN]		Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)			N _{b,Rd} =	545.21	N _{Ed} / N _{b,Rd} =		0.00		verifica soddisfatta	
M _{y,Ed} =	4.80	[kNm]		Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)			$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} = 0.06$					verifica soddisfatta		
ψ =	0.00													

Le verifiche sono ampiamente soddisfatte.

8.6 Verifiche chiodature

La reazione massima allo SLU, ottenuta dal modello di calcolo è riportata di seguito:

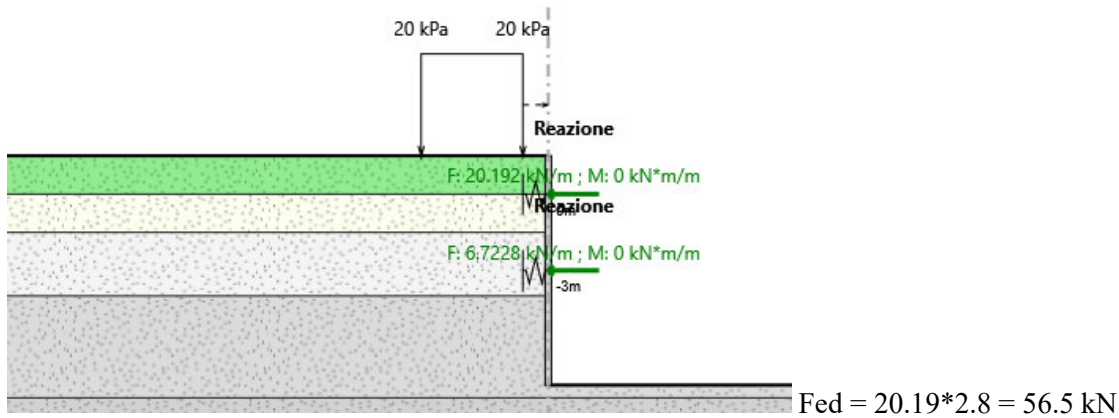
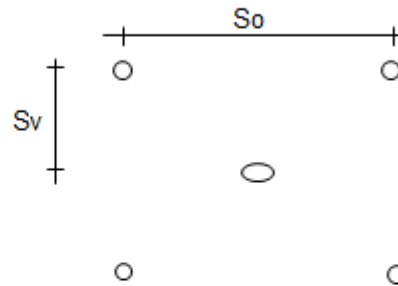


Fig. 13 – Reazioni massime chiodature.

CHIODATURA CON BARRE PASSIVE

S_v = spaziatura verticale	=	3	(m)
S_o = spaziatura orizzontale	=	2.8	(m)
D = Diametro del tondino	=	3.2	(cm)
A = Area del tondino	=	8.04	(cmq)
D_s = Diametro della Perforazione		0.06	(m)
Tipo di acciaio	<input type="text" value="altro"/>		
f_{yk} = Tensione di snervamento dell'acciaio		670	(MPa)
γ_s = coefficiente parziale acciaio		1.15	



MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00D29	CL	MU1500001	A	29 di 30

Relazione di calcolo

Forza limite di taglio del singolo chiodo

$$T = f_{yk} \cdot A / \gamma_s$$

$$T = 468.56 \text{ (kN)}$$

$$T > T_{ed} = 56.5 \text{ (kN)}$$

Lunghezza di ancoraggio della barra

coefficienti parziali		Terreno
Metodo di calcolo		γ_R
Stato limite ultimo chiodi Temporanei	●	1.10
Stato limite ultimo chiodi Permanenti	○	1.20
Tensioni ammissibili	○	2.50
altro	○	1.30

n	1 ●	2 ○	3 ○	4 ○	≥5 ○	TA ○	altro ○
ξ_3	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60	1.00	1.27
ξ_4	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55	1.00	1.12

$$L_{s \text{ min}} = T_{ed} / (\pi \cdot D_s \cdot \tau_{s,d})$$

$$\tau_{s \text{ med}} = \text{tensione di adesione media} = 0.578 \text{ (MPa)}$$


$$\tau_{s \text{ min}} = \text{tensione di adesione minima} = 0.515 \text{ (MPa)}$$

$$\tau_{s,d} = \text{Min}(\tau_{s \text{ med}} / \xi_3 \gamma_R ; \tau_{s \text{ min}} / \xi_4 \gamma_R)$$

$$\tau_{s,d} = \text{tensione di adesione di calcolo} = 0.26 \text{ (MPa)}$$

$$L_{s \text{ min}} = 1.15 \text{ (m)}$$

$$L_{s \text{ min}} < L = 8.00 \text{ m}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
MU15 – Paratia di protezione alla pk 6+924 Relazione di calcolo	COMMESSA IADR	LOTTO 00D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU1500001	REV. A	FOGLIO 30 di 30

8.7 Incidenza cordolo

Si aggiunge al quantitativo di armatura principale e secondaria un 10% per sovrapposizioni/legature.

INCIDENZA (Kg/m ³)	
Cordolo	50