COMUNE DI TOSCOLANO MADERNO — PROVINCIA DI BRESCIA

Mitigazione del rischio da frana
di un tratto della strada delle Camerate
Lotto II

PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

CODICE	CATEGORIA/SCALA	DATA	REDATTO	NUMERO ELABORATO
EDS21-054B	**SPEC**	09/2024	**MC**	**ER.02.03**

REV. N.	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA
0 1			
0 2			
0 3			

COMMITTENTE

Comune di Toscolano Maderno
Via Trento, 5
25088 Toscolano Maderno (BS)

PROGETTISTI

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE
Dott. Geol. **Giovanni Bembo**
Dott.ssa Geol. **Loredana Zecchini**

Via Trieste, 45
25084 Gargnano (BS)
Tel./FAX: 0365791070
E-MAIL bembozecchini@virgilio.it
P.IVA 02 14 33 10 981

ENDES ENGINEERING srl
38122 TRENTO - via della Malvasia 22
ARCO (TN) - via Cima Tofino 2/E
CLES (TN) - via Trento 28

info@endes.tn.it - endes@arubapec.it
www.endes.tn.it

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
dott.ing. RUGGERO CAZZOLLI
ISCRIZIONE ALBO N° 1613

MO0106 - rev00

QUESTO DOCUMENTO NON POTRÀ ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O DUPLICATO IN TUTTO O IN PARTE SENZA IL CONSENSO DEGLI AUTORI (legge 22 aprile 1941 n 633, art 2575 e segg.)

SOMMARIO

1 PREMESSA 3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 11
3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 11
4 BIBLIOGRAFIA 11
5 MATERIALI 12
6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO 14
7 VERIFICHE DI SICUREZZA DELLE BARRIERE PARAMASSI - GENERALITÀ 16
7.1 AZIONI 17
7.2 RESISTENZE 18
7.2.1 ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE 18
7.2.1.1 VERIFICA A ROTTURA DELLA SEZIONE DI ACCIAIO 18
7.2.1.2 VERIFICA DELL'INTERFACCIA ACCIAIO-MALTA 18
7.2.1.3 VERIFICA DELL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO 19
7.2.2 ANCORAGGI DI FONDAZIONE 21
7.2.2.1 VERIFICA NEI CONFRONTI DELLE AZIONI VERTICALI 21
7.2.2.2 VERIFICA NEI CONFRONTI DEL RAGGIUNGIMENTO STRUTTURALE NEI RIGUARDI DELLE AZIONI VERTICALI ED ORIZZONTALI 22
7.2.2.3 VERIFICA NEI CONFRONTI DEL RAGGIUNGIMENTO STRUTTURALE NEI RIGUARDI DELLE AZIONI VERTICALI 23
8 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 3.000 KJ FONDATA SU TERRENO SCIOLTO 24
8.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE 24
8.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO 24
8.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO 25
8.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO 26
8.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI 27
8.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI 27
8.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI 28
9 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 3.000 KJ FONDATA SU TERRENO ROCCIOSO 29
9.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE 29
9.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO 29
9.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO 30
9.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO 31
9.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI 32
9.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI 32
9.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI 33

10 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 2.000 KJ FONDATA SU TERRENO SCIOLTO 34
10.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE 34
10.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO 34
10.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO 35
10.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO 37
10.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI 39
10.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI 39
10.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI 40
11 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 2.000 KJ FONDATA SU TERRENO ROCCIOSO 41
11.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE 41
11.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO 41
11.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO 42
11.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO 44
11.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI 46
11.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI 46
11.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI 47

1 PREMESSA

La presente relazione costituisce parte integrante della documentazione di progetto esecutivo di *"Mitigazione del rischio da frana di un tratto della strada delle Camerate lotto II"* in Località Sant'Antonio, comune di Toscolano Maderno (BS), di cui ne costituisce la relazione di calcolo delle opere di mitigazione dovute al pericolo di caduta massi.

Il progetto comprende un tratto della strada delle Camerate che si sviluppa parallelamente al torrente Toscolano posto al piede tra le pendici del monte Pizzoccolo (destra idraulica) e quelle del monte Castello di Gaino (sinistra idraulica).

Figura 1: Ubicazione area in oggetto

Nella giornata del 9 e 13 maggio 2021, si è verificato un evento franoso di grandi dimensioni localizzato sul fianco orografico destro della forra del torrente.

A seguito di tale evento, sono stati eseguiti vari interventi di mitigazione del rischio da frana di un tratto di strada, come descritto nei vari elaborati progettuali di *"Mitigazione del rischio da frana di un tratto della strada delle Camerate".*

La presente relazione si riferisce agli interventi di mitigazione del rischio da caduta massi dalle pareti del M.te Castello di Gaino relativamente al tratto di strada delle Camerate all'incirca di 380 ml successivo al lotto I precedentemente citato.

L'intervento in oggetto prevede l'installazione di:

- n. 2 allineamenti di barriere paramassi certificate per impatti non inferiori a 3.000 kJ
    - altezza minima pari a 5 m;
    - lunghezza di 110 m per il primo allineamento fondata in materiale roccioso.

      L'allineamento da fondare in materiale roccioso sarà caratterizzato da montanti, disposti ad interasse pari a circa 10m, installati su plinti di fondazione in c.a., vincolati al terreno mediante n.2 barre di ancoraggio di tipo passivo in acciaio 835/1030 MPa, diametro Ø=26,5mm e lunghezza L=3.0m. Gli ancoraggi saranno alloggiati in fori Ø=90mm successivamente iniettati con malta cementizia. Lateralmente le barriere saranno vincolate mediante ancoraggi flessibili per lato in doppia fune spiroidale avente diametro Ø=16mm/fune, lunghezza L=4.0m ed alloggiati in fori Ø=110mm; a monte sono previsti ancoraggi flessibili in doppia fune spiroidale avente diametro Ø=16mm/fune, lunghezza L=4.0m ed alloggiati in fori Ø=110mm.
    - lunghezza di 60 m per il secondo allineamento fondata in materiale sciolto.

      L'allineamento da fondare in materiale sciolto sarà caratterizzato da montanti, disposti ad interasse pari a circa 10m, installati su plinti di fondazione in c.a., vincolati al terreno mediante n.2 barre di ancoraggio di tipo passivo in acciaio 835/1030 MPa, diametro Ø=26,5mm e lunghezza L=4.0m. Gli ancoraggi saranno alloggiati in fori Ø=90mm successivamente iniettati con malta cementizia. Lateralmente le barriere saranno vincolate mediante ancoraggi flessibili per lato in doppia fune spiroidale avente diametro Ø=16mm/fune, lunghezza L=6.0m ed alloggiati in fori Ø=110mm; a monte sono previsti ancoraggi flessibili in doppia fune spiroidale avente diametro Ø=16mm/fune, lunghezza L=6.0m ed alloggiati in fori Ø=110mm.

- n. 3 allineamenti di barriere paramassi certificate per impatti non inferiori a 2.000 kJ.
    - altezza minima pari a 4 m;
    - lunghezza di 40 m per il primo allineamento fondata in materiale roccioso.

      L'allineamento da fondare in materiale roccioso sarà caratterizzato da montanti, disposti ad interasse pari a circa 10m, installati su plinti di fondazione in c.a., vincolati al terreno mediante n.2 barre di ancoraggio di tipo passivo in acciaio B450C, diametro Ø=32mm e lunghezza L=2.0m. Gli ancoraggi saranno alloggiati in fori Ø=90mm successivamente iniettati con malta cementizia. Lateralmente le barriere saranno vincolate mediante ancoraggi flessibili per lato in doppia fune spiroidale avente diametro, nel caso "A" Ø=16mm/fune, lunghezza L=4.0m ed alloggiati in fori Ø=90mm e nel caso "B" Ø=14mm/fune, lunghezza L=3.0m ed alloggiati in fori Ø=90mm; a monte sono previsti ancoraggi flessibili in doppia fune spiroidale avente diametro Ø=14mm/fune, lunghezza L=3.0m ed alloggiati in fori Ø=90mm.
    - lunghezza di 50 m per il secondo allineamento fondata in materiale roccioso.

      L'allineamento da fondare in materiale roccioso sarà caratterizzato da montanti, disposti ad interasse pari a circa 10m, installati su plinti di fondazione in c.a., vincolati al terreno mediante n.2 barre di ancoraggio di tipo passivo in acciaio B450C, diametro Ø=32mm e lunghezza L=2.0m. Gli ancoraggi saranno alloggiati in fori Ø=90mm successivamente iniettati con malta cementizia. Lateralmente le barriere saranno vincolate mediante ancoraggi flessibili per lato in doppia fune spiroidale avente diametro, nel caso "A" Ø=16mm/fune, lunghezza L=4.0m ed alloggiati in fori Ø=90mm e nel caso "B" Ø=14mm/fune, lunghezza L=3.0m ed alloggiati in fori Ø=90mm; a monte sono previsti ancoraggi flessibili in doppia fune spiroidale avente diametro Ø=14mm/fune, lunghezza L=3.0m ed alloggiati in fori Ø=90mm.
    - lunghezza di 60 m per il terzo allineamento fondata in materiale sciolto.

      L'allineamento da fondare in materiale sciolto sarà caratterizzato da montanti, disposti ad interasse pari a circa 10m, installati su plinti di fondazione in c.a., vincolati al terreno mediante n.2 barre di ancoraggio di tipo passivo in acciaio B450C, diametro Ø=32mm e lunghezza L=3.0m. Gli ancoraggi saranno alloggiati in fori Ø=90mm successivamente iniettati con malta cementizia. Lateralmente le barriere saranno vincolate mediante ancoraggi flessibili per lato in doppia fune spiroidale avente diametro, nel caso "A" Ø=16mm/fune, lunghezza L=6.0m ed alloggiati in fori Ø=110mm e nel caso "B" Ø=14mm/fune, lunghezza L=4.0m ed alloggiati in fori Ø=1100mm; a monte sono previsti ancoraggi flessibili in doppia

fune spiroidale avente diametro Ø=14mm/fune, lunghezza L=5.0m ed alloggiati in fori Ø=110mm.

La definizione del valore di capacità di assorbimento dell'energia di ciascuna barriera paramassi ed i parametri geotecnici del terreno di fondazione, …, sono definiti nel documento di progetto *"ER.02.02 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA"*.

Tabella riassuntiva parametri dei terreni e dell'ammasso roccioso

Livello	Terreno	γ (t/mc)	ϕ' (°)	C1 (Kpa)	C2 (kPa)	JCS (MPa)
Livello 1	Detrito di versante Mediam. addensato	19	34-35	-	-	-
Livello 2	Detrito di versante Sub/fratturato	19-20	34-38	10-30	-	-
Livello 3	Rilievo R1 – roccia (Bieniawski)	2.6	28-30	180-200	220-250	70±12
Livello 3	Rilievo R1 – roccia (Hoek e Brown)	2.6	45-48	25-40	200-210	

C1 = coesione dell'ammasso della porzione allentata (valore residuo)
C2 = coesione dell'ammasso della compagine non allentata (Da rilievo geomeccanico)
ϕ = angolo d'attrito dell'ammasso
JCS = resistenza della roccia (discontinuità) da martello di Schmidt su roccia sana

Figura 2: Parametri geotecnici dei terreni di fondazione definiti nel doc. di progetto "E.R.02.02 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA"

Il posizionamento indicativo degli allineamenti è riportato in Figura 1. Si sottolinea comunque che il posizionamento delle barriere dovrà essere valutato in fase esecutiva durante il tracciamento in cantiere a seconda della situazione morfologica presente.

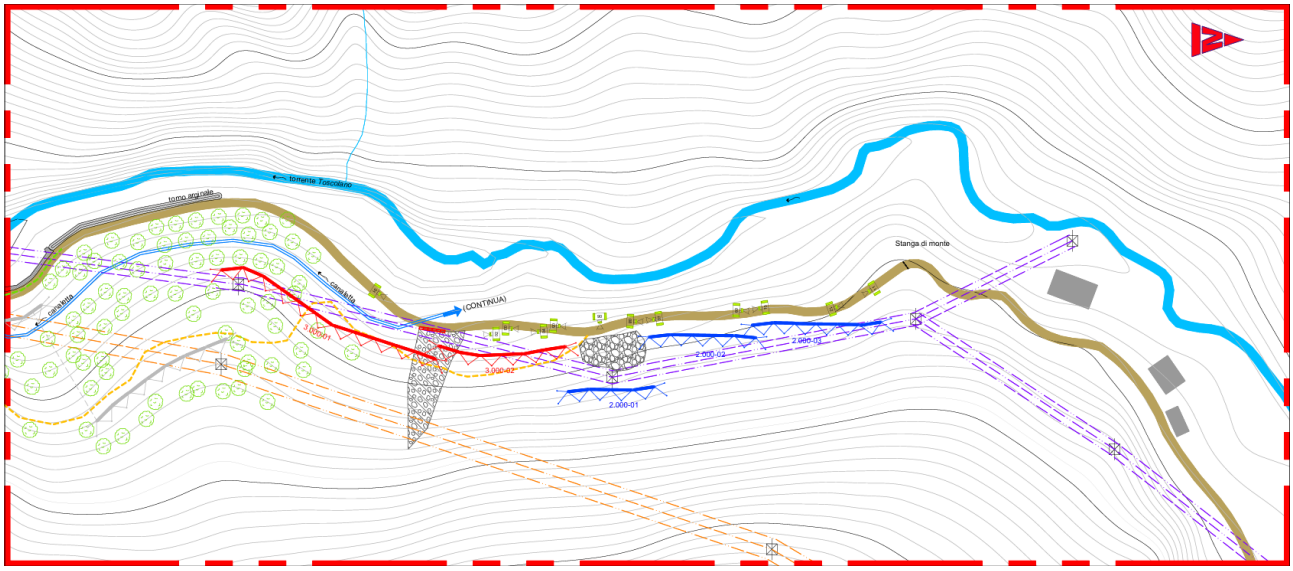

Figura 3: Posizionamento barriere paramassi, in rosso barriere da 3.000kJ e in blu barriere da 2.000kJ

RB 2000			
Trazione ancoraggi laterali "tipo A"	$T_{Ed,lat,A}$	251	[kN]
Trazione ancoraggi laterali "tipo B"	$T_{Ed,lat,B}$	164	[kN]
Trazione ancoraggi di monte	$T_{Ed,monte}$	182	[kN]
n° ancoraggi di fondazione per ogni montante	$n_{barre\ montanti}$	2	[kN]
Compressione totale alla base dei montanti	$N_{Ed,tot}$	189	[kN]
Carico di taglio totale alla base dei montanti	$V_{Ed,tot}$	160,00	[kN]
Compressione agente sul singolo montante di fondazione	$N_{Ed,montante}$	94,5	[kN]
Carico di taglio agente sul singolo montante di fondazione	$V_{Ed,montante}$	80,0	[kN]
ANCORAGGI LATERALI IN FUNE SPIROIDALE "TIPO A"			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	110	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	16	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	6,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,5	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	5,5	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa
ANCORAGGI LATERALI IN FUNE SPIROIDALE "TIPO B"			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	110	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	14	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	4,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,5	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	3,5	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa
ANCORAGGI DI MONTE IN FUNE SPIROIDALE			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	110	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	14	mm
lunghezza ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	5,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,5	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	4,5	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa
MONTANTI DI FONDAZIONE IN BARRA			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	90	mm
Diametro barra	$Ø_{barra}$	32	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	3	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,5	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	2,5	m
tipo di acciaio		B450C	
Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk}	450	MPa
Tensione caratteristica a rottura	f_{tk}	540	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa

Figura 4: Riepilogo dati barriera di progetto capacità di assorbimento 2.000kJ fondata su terreno sciolto.

RB 2000			
Trazione ancoraggi laterali "tipo A"	$T_{Ed,lat,A}$	251	[kN]
Trazione ancoraggi laterali "tipo B"	$T_{Ed,lat,B}$	164	[kN]
Trazione ancoraggi di monte	$T_{Ed,monte}$	182	[kN]
n° ancoraggi di fondazione per ogni montante	$n_{barre\ montanti}$	2	[kN]
Compressione totale alla base dei montanti	$N_{Ed,tot}$	189	[kN]
Carico di taglio totale alla base dei montanti	$V_{Ed,tot}$	160,00	[kN]
Compressione agente sul singolo montante di fondazione	$N_{Ed,montante}$	94,5	[kN]
Carico di taglio agente sul singolo montante di fondazione	$V_{Ed,montante}$	80,0	[kN]

ANCORAGGI LATERALI IN FUNE SPIROIDALE "TIPO A"			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	90	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	16	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	4,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,35	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	3,7	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa

ANCORAGGI LATERALI IN FUNE SPIROIDALE "TIPO B"			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	90	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	14	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	3,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,35	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	2,7	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa

ANCORAGGI DI MONTE IN FUNE SPIROIDALE			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	90	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	14	mm
lunghezza ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	3,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,35	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	2,7	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa

MONTANTI DI FONDAZIONE IN BARRA			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	90	mm
Diametro barra	$Ø_{barra}$	32	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	2	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,35	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	1,7	m
tipo di acciaio		B450C	
Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk}	450	MPa
Tensione caratteristica a rottura	f_{tk}	540	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa

Figura 5Riepilogo dati barriera di progetto capacità di assorbimento 2.000kJ fondata su terreno roccioso.

RB 3000			
Trazione ancoraggi laterali	$T_{Ed,lat}$	264	[kN]
Trazione ancoraggi di monte	$T_{Ed,monte}$	262	[kN]
n° ancoraggi di fondazione per ogni montante	$n_{barre\ montanti}$	2	[kN]
Compressione totale alla base dei montanti	$N_{Ed,tot}$	263	[kN]
Carico di taglio totale alla base dei montanti	$V_{Ed,tot}$	206,00	[kN]
Compressione agente sul singolo montante di fondazione	$N_{Ed,montante}$	131,5	[kN]
Carico di taglio agente sul singolo montante di fondazione	$V_{Ed,montante}$	103,0	[kN]
ANCORAGGI LATERALI IN FUNE SPIROIDALE			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	110	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	16	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	6,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,5	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	5,5	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa
ANCORAGGI DI MONTE IN FUNE SPIROIDALE			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	110	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	16	mm
lunghezza ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	6,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,5	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	5,5	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa
MONTANTI DI FONDAZIONE IN BARRA			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	90	mm
Diametro barra	$Ø_{barra}$	26,5	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	4	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,5	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	3,5	m
tipo di acciaio		835/1030	
Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk}	835	MPa
Tensione caratteristica a rottura	f_{tk}	1030	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa

Figura 6: Riepilogo dati barriera di progetto capacità di assorbimento 3.000kJ fondata su terreno sciolto.

RB 3000			
Trazione ancoraggi laterali	$T_{Ed,lat}$	264	[kN]
Trazione ancoraggi di monte	$T_{Ed,monte}$	262	[kN]
n° ancoraggi di fondazione per ogni montante	$n_{barre\ montanti}$	2	[kN]
Compressione totale alla base dei montanti	$N_{Ed,tot}$	263	[kN]
Carico di taglio totale alla base dei montanti	$V_{Ed,tot}$	206,00	[kN]
Compressione agente sul singolo montante di fondazione	$N_{Ed,montante}$	131,5	[kN]
Carico di taglio agente sul singolo montante di fondazione	$V_{Ed,montante}$	103,0	[kN]
ANCORAGGI LATERALI IN FUNE SPIROIDALE			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	110	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	16	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	4,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,50	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	3,5	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa
ANCORAGGI DI MONTE IN FUNE SPIROIDALE			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	110	mm
Diametro fune	$Ø_{fune}$	16	mm
lunghezza ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	4,0	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,50	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	3,5	m
Carico caratteristico a rottura della fune	F_{tk}	690	kN
Tensione caratteristica a snervamento della fune	f_{yk}	1770	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa
MONTANTI DI FONDAZIONE IN BARRA			
Diametro di perforazione	$Ø_{perforazione}$	90	mm
Diametro barra	$Ø_{barra}$	26,5	mm
lunghezza nominale ancoraggio	$L_{ancoraggio\ lat.}$	3	m
porzione di ancoraggio trascurato causa incertezza bontà del terreno di copertura		0,50	m
lunghezza efficacie ancoraggio ($L_{ancoraggio\ lat.}$ - 0,5 m)	$L_{eff.}$	2,5	m
tipo di acciaio		835/1030	
Tensione caratteristica a snervamento	f_{yk}	835	MPa
Tensione caratteristica a rottura	f_{tk}	1030	MPa
Misciela cementizia per iniezioni, classe di resistenza minima		C25/30	-
	R_{ck}	30	MPa
	f_{ck}	25	MPa

Figura 7:: Riepilogo dati barriera di progetto capacità di assorbimento 3.000kJ fondata su terreno roccioso.

Sono di seguito illustrate le verifiche di sicurezza delle opere in progetto, ai sensi del D.M. 17/01/2018, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", aggiornate con la Circolare del 21 Gennaio 2019 n.7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e della norma UNI EN 11211-4: 2018 "Opere di difesa dalla caduta massi".

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" – Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018;
- Circolare n.7 del 21 Gennaio 2019 C.S.LL.PP., "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni";
- EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical Design;
- EN 1998 Eurocode 8: Design of Structures for earthquake resistance;
- Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni AGI (Associazione Geotecnica Italiana) – AICAP, Roma 2012;
- UNI EN 1537 – Esecuzione di opere geotecniche speciali – ancoraggi nel terreno;
- EOTA ETAG 27 – Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits;
- UNI 11211-4: 2018 – Opere di difesa dalla caduta massi.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

[1] "EDS24-907 ER0101 REL TEC ILL." – ing. R. Cazzolli

4 BIBLIOGRAFIA

- Bustamante & Doix (1985) – Une methode pour le calcul des tirants et des micropieux injectes, Bulletin Laboratoire Central des Ponts et Chaussees, n. 140, nov.-dec., ref.3047.

5 MATERIALI

BARRE DI ANCORAGGIO – MONTANTI PLINTI DI FONDAZIONE

- Acciaio per armature in barre ad aderenza migliorata tipo B450C zincate Ø32mm (fondazioni barriere con classe di assorbimento di 2.000kJ):
  - Resistenza caratteristica allo snervamento $f_{y,k} \geq 450MPa$
  - Resistenza caratteristica a rottura $f_{t,k} \geq 540MPa$

- Acciaio tipo 8350/1030 (fondazioni barriere con classe di assorbimento di 3.000kJ):
  - Resistenza caratteristica allo snervamento $f_{y,k} \geq 835MPa$
  - Resistenza caratteristica a rottura $f_{t,k} \geq 1030MPa$
- Miscela cementizia per iniezioni
  - Rapporto massimo A/C ≤ 0.50
  - Classe di resistenza minima C25/30
  - Dosaggio minimo di cemento 1200 kg/m^3

ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE PER BARRIERA CON CLASSE DI ASSORBIMENTO 2.000kJ (LATERALI E DI MONTE)

- Ancoraggi in doppia fune spiroidale laterali tipo ”A”
  - Classe di resistenza della fune >1770 MPa (EN12385-10)
  - Zincatura classe A (EN 10244-2);
  - Numero trefoli/fune 19trefoli/fune
  - Diametro nominale fune Ø16.0mm/fune
  - Carico caratteristico a rottura dell’ancoraggio F_{tk}=460kN/ancoraggio

- Ancoraggi in doppia fune spiroidale laterali tipo ”B”
  - Classe di resistenza della fune >1770 MPa (EN12385-10)
  - Zincatura classe A (EN 10244-2);
  - Numero trefoli/fune 19trefoli/fune
  - Diametro nominale fune Ø14.0mm/fune
  - Carico caratteristico a rottura dell’ancoraggio F_{tk}=460kN/ancoraggio

- Ancoraggi in doppia fune spiroidale di monte
  - Classe di resistenza della fune >1770 MPa (EN12385-10)
  - Zincatura classe A (EN 10244-2);
  - Numero trefoli/fune 37trefoli/fune
  - Diametro nominale fune Ø20.0mm/fune
  - Carico caratteristico a rottura dell’ancoraggio F_{tk}=700kN/ancoraggio

- Miscela cementizia di iniezione:
  - Rapporto massimo A/C ≤ 0.50;
  - Classe di resistenza minima C25/30;
  - Dosaggio minimo di cemento 1200 kg/m^3.

<u>ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE PER BARRIERA CON CLASSE DI ASSORBIMENTO 3.000kJ (LATERALI E DI MONTE)</u>

- Ancoraggi in doppia fune spiroidale
  - Classe di resistenza della fune >1770 MPa (EN12385-10)
  - Zincatura classe A (EN 10244-2);
  - Numero trefoli/fune 19trefoli/fune
  - Diametro nominale fune Ø16.0mm/fune
  - Carico caratteristico a rottura dell'ancoraggio F_{tk}=460kN/ancoraggio
- Miscela cementizia di iniezione:
  - Rapporto massimo A/C ≤ 0.50;
  - Classe di resistenza minima C25/30;
  - Dosaggio minimo di cemento 1200 kg/m^3.

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per quanto riguarda gli allineamenti delle barriere con classe di assorbimento minima di 2.000 kJ fondate su materiale sciolto, il modello geotecnico assunto prevede la presenza di un unico livello, che costituisce il volume significativo di terreno ai fini delle verifiche di calcolo delle fondazioni della barriera paramassi.

La valutazione della resistenza tangenziale τ, che si esplicita sulla superficie di contatto tra il bulbo di fondazione ed il terreno in fase di trazione dell'ancoraggio è ricavata dai dati di letteratura e indicata in Tabella 1.

Il valore coefficiente maggiorativo α del diametro di perforazione, stabilito in funzione del tipo di terreno di fondazione, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione è ricavato da dati di letteratura e indicato in Tabella 1.

Il valore di resistenza tangenziale τ e il valore del coefficiente maggiorativo α attribuiti e indicati in Tabella 1 agli ancoraggi di fondazione dovranno essere convalidati in sede di collaudo.

MODELLO GEOTECNICO			
Terreno	Spessore [m]	α_i [-]	$q_{s,i}$ [kPa]
Unità A	10	1,15	260
Unità B	0	0	0

Tabella 1: Valori di q_s ed α per barriere con classe di assorbimento 2.000kJ fondate in materiale sciolto

Per quanto riguarda gli allineamenti delle barriere con classe di assorbimento minima di 2.000 kJ fondate su materiale roccioso, il modello geotecnico assunto prevede la presenza di un unico livello, che costituisce il volume significativo di terreno ai fini delle verifiche di calcolo delle fondazioni della barriera paramassi.

La valutazione della resistenza tangenziale τ, che si esplicita sulla superficie di contatto tra il bulbo di fondazione ed il terreno in fase di trazione dell'ancoraggio è ricavata dai dati di letteratura e indicata in Tabella 2.

Il valore coefficiente maggiorativo α del diametro di perforazione, stabilito in funzione del tipo di terreno di fondazione, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione è ricavato da dati di letteratura e indicato in Tabella 2

Il valore di resistenza tangenziale τ e il valore del coefficiente maggiorativo α attribuiti e indicati in Tabella 2 agli ancoraggi di fondazione dovranno essere convalidati in sede di collaudo.

MODELLO GEOTECNICO			
Terreno	Spessore [m]	α_i [-]	$q_{s,i}$ [kPa]
Unità A	10	1,15	465
Unità B	0	0	0

Tabella 2: Valori di q_s ed α per barriere con classe di assorbimento 2.000kJ fondate in materiale roccioso

Per quanto riguarda gli allineamenti delle barriere con classe di assorbimento minima di 3.000 kJ fondate su materiale sciolto, il modello geotecnico assunto prevede la presenza di un unico livello, che costituisce il volume significativo di terreno ai fini delle verifiche di calcolo delle fondazioni della barriera paramassi.

La valutazione della resistenza tangenziale τ, che si esplicita sulla superficie di contatto tra il bulbo di fondazione ed il terreno in fase di trazione dell'ancoraggio è ricavata dai dati di letteratura e indicata in Tabella 3.

Il valore coefficiente maggiorativo α del diametro di perforazione, stabilito in funzione del tipo di terreno di fondazione, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione è ricavato da dati di letteratura e indicato in Tabella 3.

Il valore di resistenza tangenziale τ e il valore del coefficiente maggiorativo α attribuiti e indicati in Tabella 3 agli ancoraggi di fondazione dovranno essere convalidati in sede di collaudo.

MODELLO GEOTECNICO			
Terreno	Spessore [m]	α_i [-]	$q_{s,i}$ [kPa]
Unità A	10	1,15	260
Unità B	0	0	0

Tabella 3: Valori di q_s ed α per barriere con classe di assorbimento 3.000kJ fondate in materiale sciolto

Per quanto riguarda gli allineamenti delle barriere con classe di assorbimento minima di 3.000 kJ fondate su materiale roccioso, il modello geotecnico assunto prevede la presenza di un unico livello, che costituisce il volume significativo di terreno ai fini delle verifiche di calcolo delle fondazioni della barriera paramassi.

La valutazione della resistenza tangenziale τ, che si esplicita sulla superficie di contatto tra il bulbo di fondazione ed il terreno in fase di trazione dell'ancoraggio è ricavata dai dati di letteratura e indicata in Tabella 4.

Il valore coefficiente maggiorativo α del diametro di perforazione, stabilito in funzione del tipo di terreno di fondazione, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione è ricavato da dati di letteratura e indicato in Tabella 4.

Il valore di resistenza tangenziale τ e il valore del coefficiente maggiorativo α attribuiti e indicati in Tabella 4 agli ancoraggi di fondazione dovranno essere convalidati in sede di collaudo.

MODELLO GEOTECNICO			
Terreno	Spessore [m]	α_i [-]	$q_{s,i}$ [kPa]
Unità A	10	1,15	465
Unità B	0	0	0

Tabella 4: Valori di q_s ed α per barriere con classe di assorbimento 3.000kJ fondate in materiale roccioso

7 VERIFICHE DI SICUREZZA DELLE BARRIERE PARAMASSI - GENERALITÀ

Sono di seguito riportati il dimensionamento e le verifiche di sicurezza delle fondazioni e degli ancoraggi delle barriere paramassi previste da progetto.

In ottemperanza a quanto previsto dalle Norme Tecniche ed alla norma di riferimento UNI 11211-4, le verifiche di sicurezza degli ancoraggi e delle fondazioni dei montanti devono essere eseguite con riferimento agli Stati Limite Ultimi (SLU) adottando l'Approccio 2 - Combinazione A1+M1+R3 per quanto concerne le verifiche di tipo Geotecnico (GEO) e la combinazione A1+M1+R1 per quanto concerne le verifiche di tipo Strutturale (STR).

Nelle seguenti tabelle si riportano i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici previsti da normativa.

	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_{Qi}	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_{G2}

Tabella 5: Tab.6.2.I NTC18 - Coefficienti parziali per le azioni

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: Tab. 6.2.II NTC18 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Nello specifico, le verifiche sono state condotte considerando i seguenti meccanismi di rottura:

- ANCORAGGI
  - rottura del materiale che costituisce l'ancoraggio (STR);
  - sfilamento all'interfaccia malta – acciaio (STR);
  - sfilamento all'interfaccia malta – terreno (GEO).
- FONDAZIONI
  - collasso per carico limite nei riguardi dei carichi assiali (GEO);
  - sfilamento all'interfaccia malta – acciaio (STR);
  - raggiungimento della resistenza strutturale nei riguardi delle azioni verticali ed orizzontali (STR).

In conformità alla normativa vigente, le verifiche devono soddisfare la seguente relazione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- E_d azioni o gli effetti delle azioni di progetto;
- R_d resistenze o gli effetti delle resistenze di progetto.

7.1 AZIONI

Il dimensionamento delle barriere paramassi viene svolto considerando l'evento eccezionale rappresentato dall'azione d'urto impressa dal "masso di progetto" sulla barriera stessa.

Le azioni di progetto sono pertanto valutate adottando la combinazione eccezionale in conformità al §2.5.3 del D.M. 17/01/2018:

$$A_d + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \cdots$$

dove:

- A_d azione eccezionale di progetto;
- G_1 e G_2 azioni dei carichi permanenti (strutturali e non strutturali);
- $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ valori quasi permanenti dei carichi variabili.

Le massime sollecitazioni sugli ancoraggi di fondazione sono fornite direttamente dalle ditte produttrici delle barriere di sicurezza a seguito di test in vera grandezza MEL (Maximum Energy Level) come prescritto dalle norme di riferimento EOTA ETAG 27.

I dimensionamenti e le verifiche di sicurezza nonché le specifiche tecniche delle strutture paramassi sono stati desunti da specifiche di prodotti presenti sul mercato.

Tali valori sono da considerarsi quali azioni di progetto da adottare nelle verifiche delle fondazioni e degli ancoraggi.

- Ancoraggi montante
  - Carico di compressione alla base dei montanti $N_{Ed,tot}$
  - Carico di taglio alla base dei montanti $V_{Ed,tot}$
- Ancoraggi laterali
  - Carico di trazione sugli ancoraggi laterali $T_{Ed,lat}$
- Ancoraggi di monte
  - Carico di trazione sugli ancoraggi di monte $T_{Ed.monte}$

Le sollecitazioni agenti su ciascun ancoraggio dei montanti sono state valutate in accordo all'ipotesi secondo la quale le azioni vengano ripartite in modo analogo tra il numero di ancoraggi costituenti la fondazione. Ne consegue le massime azioni agenti sugli ancoraggi di montanti sono:

- Carico di compressione alla base dei montanti $N_{Ed,montante} = \frac{N_{Ed,tot}}{n_{barre\ montanti}}$

- Carico di taglio alla base dei montanti $V_{Ed,montante} = \frac{V_{Ed,tot}}{n_{barre\ montanti}}$

In accordo a quanto riportato al §2.5.3 della Normativa vigente, le azioni agenti sugli ancoraggi e sulle fondazioni valutate adottando la combinazione sismica trascurano la presenza di azioni eccezionali quali quella dell'urto del "masso di progetto" mentre considerano solo la forza peso e le azioni indotte dal sisma stesso.

Essendo tali azioni significativamente inferiori rispetto a quelle fornite dai risultati dei test MEL, le verifiche nei confronti delle sollecitazioni indotte da azione sismica sono state trascurate.

7.2 RESISTENZE

Come detto in precedenza, le fondazioni e gli ancoraggi laterali e di monte devono essere verificate considerando i meccanismi di rottura soprariportati.

7.2.1 ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE

7.2.1.1 VERIFICA A ROTTURA DELLA SEZIONE DI ACCIAIO

Gli ancoraggi laterali e di monte sono soggetti a sforzi di trazione. La verifica a rottura delle sezioni in acciaio, in conformità alla norma UNI EN 1993-1-11:2007, deve soddisfare la seguente relazione:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

dove:

- N_{Ed} azione assiale di progetto in condizioni allo Stato Limite Ultimo (SLU);
- F_{Rd} resistenza di progetto a rottura assunta pari a:

$$F_{Rd} = \frac{F_{uk}}{\gamma_{M0}}$$

con:

- F_{uk} carico caratteristico a rottura dell'ancoraggio;
- γ_{M0} coefficiente di sicurezza parziale assunto pari a 1.50.

7.2.1.2 VERIFICA DELL'INTERFACCIA ACCIAIO-MALTA

La verifica dell'interfaccia acciaio-malta, in conformità al §4.1.2.1.1.4, deve soddisfare la seguente relazione:

$$\frac{N_{Ed}}{R_d} \leq 1$$

dove:

- N_{Ed} massima azione assiale di progetto in condizioni allo Stato Limite Ultimo (SLU);
- R_d resistenza di calcolo allo sfilamento per raggiungimento dell'aderenza limite acciaio-malta pari a:

$$R_d = \frac{f_{bk}}{\gamma_M} \cdot C \cdot L_{ancoraggio}$$

con:

- C circonferenza di calcolo delle funi pari a:
  - $C = \pi \cdot d_{barra}$ nel caso di ancoraggi in barra;
  - $C = \gamma_{geom} \cdot 2 \cdot \pi \cdot d_{ancoraggi}$ nel caso di ancoraggi in doppia fune spiroidale dove γ_{geom} è un fattore di riduzione, pari a 0.85, dovuto al fatto che le due funi accoppiate non sviluppano una superficie di contatto con la malta pari alla somma delle due superfici delle singole funi.
- f_{bk} resistenza tangenziale caratteristica di aderenza data da:

$$f_{bk} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk}$$

con:

- $\eta_1 = 1.0$ in condizioni di buona aderenza;
- $\eta_1 = 0.7$ in condizioni di non buona aderenza, quali nei casi di armature molto addensate, ancoraggi in zona tesa, ancoraggi in zone superiori di getto, in elementi strutturali realizzati con casseforme scorrevoli, a meno che non si adottino idonei provvedimenti;
- $\eta_2 = 1.0$ per barre di diametro $\phi \leq 32mm$;
- $\eta_2 = (132 - \phi)/100$ per barre di diametro superiore
- f_{ctk} resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 0.3 \cdot {f_{ck}}^{2/3}$$

con f_{ck} è la resistenza caratteristica della malta di iniezione.

- γ_c coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo pari a 1.5

7.2.1.3 VERIFICA DELL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO

In accordo a quanto riportato al §6.6 delle NTC 18 la verifica a sfilamento deve soddisfare la seguente relazione:

$$E_d \leq R_{a,d}$$

dove:

- E_d l'azione di progetto sul tirante valutata allo Stato Limite Ultimo (Comb.A1+M1+R3);
- $R_{a,d}$ valore della resistenza di progetto allo sfilamento del bulbo di fondazione;

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio R_{ak} si può determinare:

- dai risultati di prove di progetto su ancoraggi di prova;
- con metodi di calcolo analitici, dai valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati di prove in sito e/o di laboratorio.

Nel caso in oggetto è stato fatto riferimento a metodi di calcolo analitici e adottando il modello geotecnico indicato al §0.

In accordo a quanto previsto dalla normativa vigente, la resistenza di progetto allo sfilamento $R_{a,d}$ degli ancoraggi si ottiene a partire dal valore caratteristico $R_{a,k}$ applicando il coefficiente parziale di resistenza γ_R.

$$R_{a,d} = \frac{R_{a,k}}{\gamma_R}$$

dove γ_R è il coefficiente parziale che per barre di ancoraggio permanenti vale $\gamma_R = 1.2$ (*Tabella 7*).

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

Tabella 7: Tab.6.6.I - coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

La resistenza caratteristica si ricava dalla resistenza di calcolo $R_{a,c}$ applicando il fattore di correlazione ξ_4 in funzione del numero di profili di indagine a disposizione.

$$R_{a,k} = \frac{(R_{a,c})_{media}}{\xi_4}$$

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Tabella 8: Tab.6.6.III NTC18 - fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche in funzione del numero n di profili di indagine

Nel caso in esame non avendo a disposizione alcuna verticale di indagine è stato adottato un fattore di correlazione pari a ξ_4 = 1.80.

Il valore della resistenza di calcolo $R_{a,c}$ è stato calcolato adottando la seguente relazione proposta da Bustamante (1985):

$$R_{a,c} = D_s \cdot \pi \cdot L_f \cdot \tau_s$$

dove:

- $D_s = \alpha \times D_d$
- α coefficiente maggiorativo del diametro di perforazione funzione del tipo di terreno, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione, nel caso in oggetto il valore è indicato nel *capitolo 6*
- D_d diametro nominale di perforazione è indicato nelle tabelle riepilogative del *capitolo 1*

- L_f lunghezza del bulbo di ancoraggio; cautelativamente, il calcolo è stato eseguito trascurando lo spessore di coltre di terreno più superficiale
- τ_s tensione limite di aderenza fra bulbo e terreno assunta sulla base di quanto indicato nel *capitolo 6*

7.2.2 ANCORAGGI DI FONDAZIONE

7.2.2.1 VERIFICA NEI CONFRONTI DELLE AZIONI VERTICALI

Il calcolo della resistenza di progetto a compressione delle barre di ancoraggio di fondazione dei montanti è stata condotta in conformità a quanto riportato nelle "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 17 Gennaio 2018, che prevede l'analisi agli Stati Limite Ultimi, con la determinazione della resistenza di progetto $R_{c,d}$, da confrontare con l'azione di progetto E_d.

La resistenza di progetto a compressione $R_{c,d}$ è stata ottenuta a partire dai valori caratteristici R_k (laterale e di punta) applicando i coefficienti parziali γ_R propri dei pali trivellati riportati in *Tabella 9*.

$$R_d = R_{s,d} + R_{b,d}$$

$$R_{s,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}$$

$$R_{b,d} = \frac{R_{b,k}}{\gamma_b}$$

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tabella 9: Tab.6.4.II NTC18 - Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Le resistenze caratteristiche per attrito laterale $R_{s,k}$ o di punta $R_{b,k}$ sono state a loro volta ricavate dalle resistenze di calcolo $R_{s,c}$ ed $R_{b,c}$ applicando il fattore di correlazione ξ_4 in funzione del numero di verticali di indagine.

$$R_{c,k} = \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_4}$$

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Tabella 10: Tab. 6.4.IV NTC18 - Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Nel caso in esame non avendo a disposizione alcuna verticale di indagine è stato adottato un fattore di correlazione pari a ξ_4 = 1.70.

La resistenza di calcolo laterale è stata valutata adottando la relazione di Bustamante – Doix (1985) già riportata nel paragrafo §7.2.1.3, mentre la resistenza di calcolo di punta è stata cautelativamente trascurata.

7.2.2.2 VERIFICA NEI CONFRONTI DEL RAGGIUNGIMENTO STRUTTURALE NEI RIGUARDI DELLE AZIONI VERTICALI ED ORIZZONTALI

La verifica strutturale delle barre di ancoraggio dei montanti soggette a sforzi orizzontali e verticali, in conformità al criterio di Von Mises e con riferimento agli Stati Limite Ultimi (SLU) – Approccio 1 (Comb. A1-M1-R1), deve soddisfare la relazione:

$$\sigma_{id} \leq f_{yd}$$

dove:

- σ_{id} tensione ideale della sezione più sollecitata pari a:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_f^2}$$

con:

- $\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_{barra}}$ tensione di compressione;
- $\tau_f = \frac{V_{Ed}}{A_{barra,taglio}}$ tensione tangenziale;

con:

- N_{Ed} azione assiale di progetto;
- V_{Ed} azione orizzontale di progetto;
- A_{barra} area barra di ancoraggio;
- $A_{barra,taglio}$ area resistente al taglio barra pari a:

$$A_{barra,taglio} = \frac{3}{4} A_{barra}$$

- f_{yd} tensione di progetto di snervamento dell'acciaio nel caso in oggetto pari a:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S}$$

con:

- f_{yk} tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio;
- γ_S coefficiente parziale di sicurezza sull'acciaio pari a 1.15.

7.2.2.3 VERIFICA NEI CONFRONTI DEL RAGGIUNGIMENTO STRUTTURALE NEI RIGUARDI DELLE AZIONI VERTICALI

La verifica strutturale delle barre di ancoraggio dei montanti soggette a sforzi assiali, in accordo a quanto previsto al §4.2.4.1.2 della normativa vigente, deve soddisfare la seguente relazione:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

dove:

- N_{Ed} azione assiale di progetto in condizioni allo Stato Limite Ultimo (SLU);
- F_{Rd} resistenza di progetto a rottura assunta pari a:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yk}A}{\gamma_{M0}} = \frac{F_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

con:

- f_{yk} tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio;
- F_{yk} carico caratteristico di snervamento dell'ancoraggio;
- γ_{M0} coefficiente di sicurezza parziale assunto pari a 1.15.

8 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 3.000 KJ FONDATA SU TERRENO SCIOLTO

8.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE

8.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO

Si riportano di seguito le verifiche strutturali degli ancoraggi:

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**264,0**	[kN]

Tabella 11: Barriera 3.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi laterali

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**262,0**	[kN]

Tabella 12: Barriera 3.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi di monte

Essendo la resistenza a rottura di progetto F_{yd} maggiore delle massime azioni di trazione, le verifiche si ritengono soddisfatte.

8.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dell'interfaccia malta – acciaio:

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	5,5	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	5,5	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	16,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,09	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**992,4**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**264,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**3,8**	-

Tabella 13: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi laterali

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	5,5	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	5,5	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	16,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,09	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**992,4**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**262,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**3,8**	-

Tabella 14: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato in *Tabella 13 e Tabella 14* essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

8.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 5,5 [m]
Diametro di perforazione: 0,11 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	5,5	0,11	1,15	0,1265	260	568,3
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 568,3 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_{3} 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 315,72 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 263,1 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,laterali}$ Carico di trazione sugli ancoraggi laterali 264,0 [kN]

Tabella 15: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi laterali

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 5,5 [m]
Diametro di perforazione: 0,11 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	5,5	0,11	1,15	0,1265	260	568,3
Unità B	0,0	0,0	0	0	0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 568,3 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_{3} 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 315,72 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 263,1 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,monte}$ Carico di trazione sugli ancoraggi monte 262,0 [kN]

Tabella 16: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato in *Tabella 15* e *Tabella 16,* essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

8.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI

8.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI

Lunghezza ancoraggio: **3,5** [m]
Diametro di perforazione: **0,09** [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	3,5	0,09	1,15	0,1035	260	295,9
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 295,9 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)

Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali

Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.4.II, 6.4.IV della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica

Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

ξ_3 1,7 [Tab. 6.4.II-IV NTC18]
R_{ak} Resistenza caratteristica 174,05 [kN]

Calcolo resistenza laterale di progetto

γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.6.I NTC18]
R_{ad} Resistenza laterale di progetto **145,0** [kN]

Azione di progetto

n° di ancoraggi di fondazione 2
$N_{Ed,montanti}$ Carico di compressione alla base dei montanti **131,5** [kN]

Tabella 17: Barriera 3.000kJ – Verifica capacità portante a compressione ancoraggi montante

In accordo a quanto riportato in *Tabella 17,* essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

8.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Con riferimento a quanto soprariportato, si riporta di seguito la verifica strutturale delle barre di ancoraggio delle fondazioni dei montanti:

VERIFICA STRUTTURALE BARRE DI ANCORAGGIO		
GEOMETRIA		
Diametro barra di ancoraggio	ϕ_{barra} [mm]	26,5
Area barra di ancoraggio	A_{barra} [mm^2]	551,5
Area resistente al taglio della sezione [A_{res}=3/4*A_{barra}]	A_{res} [m^2]	4,14E-04
MATERIALE		
Acciaio		835/1030
Tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio	f_{yk} [MPa]	835
Coefficiente di sicurezza parziale sui materiali	γ_{M0}	1,15
Tensione di progetto dell'acciaio	f_{yd} [MPa]	726
AZIONI SOLLECITANTI		
Azione assiale di progetto	N_{Ed} [kN]	131,5
Azione tagliante di progetto	V_{Ed} [kN]	103,0
DATI DI PROGETTO		
Tensione di compressione [σ=N_d/A_{barra}]	σ [MPa]	238,42
Tensione tangenziale [τ=T_d/A_{res}]	τ [MPa]	249,00
Tensione ideale [σ_{id}=radq(σ^2+3τ^2)/A_{barra}]	σ_{id} [MPa]	492,79
VERIFICA (Criterio di Von Mises)		**σid< fyd**

Tabella 18: Barriera 3.000kJ – Verifica strutturale delle barre di fondazione dei montanti – Criterio di Von Mises

Essendo soddisfatta la relazione $\sigma_{id} \leq f_{yd}$, la verifica si ritiene soddisfatta.

9 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 3.000 KJ FONDATA SU TERRENO ROCCIOSO

9.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE

9.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO

Si riportano di seguito le verifiche strutturali degli ancoraggi:

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**264,0**	[kN]

Tabella 19: Barriera 3.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi laterali

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**262,0**	[kN]

Tabella 20: Barriera 3.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi di monte

Essendo la resistenza a rottura di progetto F_{yd} maggiore delle massime azioni di trazione, le verifiche si ritengono soddisfatte.

9.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dell'interfaccia malta – acciaio:

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,5	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,5	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	16,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,09	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**631,5**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**264,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**2,4**	-

Tabella 21: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi laterali

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,5	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,5	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	16,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,09	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**631,5**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**262,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**2,4**	-

Tabella 22: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato in *Tabella 13 e Tabella 14* essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

9.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 3,5 [m]
Diametro di perforazione: 0,11 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	3,5	0,11	1,15	0,1265	465	646,8
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:
i Strato i-esimo
l_{si} Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$ Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$ Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$ Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento
$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 646,8 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_3 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 359,33 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 299,4 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,laterali}$ Carico di trazione sugli ancoraggi laterali 264,0 [kN]

Tabella 23: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi laterali

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 3,5 [m]
Diametro di perforazione: 0,11 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	3,5	0,11	1,15	0,1265	465	646,8
Unità B	0,0	0,0	0	0	0	0,0

Legenda:
i Strato i-esimo
l_{si} Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$ Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$ Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$ Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento
$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 646,8 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_3 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 359,33 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 299,4 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,monte}$ Carico di trazione sugli ancoraggi monte 262,0 [kN]

Tabella 24: Barriera 3.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato in *Tabella 15* e *Tabella 16,* essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

9.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI

9.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI

Lunghezza ancoraggio: **2,5** [m]
Diametro di perforazione: **0,09** [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	2,5	0,09	1,15	0,1035	465	378,0
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 378,0 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)

Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali

Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.4.II, 6.4.IV della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica

Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

ξ_3 1,7 [Tab. 6.4.II-IV NTC18]
R_{ak} Resistenza caratteristica 222,35 [kN]

Calcolo resistenza laterale di progetto

γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.6.I NTC18]
R_{ad} Resistenza laterale di progetto **185,3** [kN]

Azione di progetto

n° di ancoraggi di fondazione 2
$N_{Ed,montanti}$ Carico di compressione alla base dei montanti **131,5** [kN]

Tabella 25: Barriera 3.000kJ – Verifica capacità portante a compressione ancoraggi montante

In accordo a quanto riportato in *Tabella 17,* essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

9.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Con riferimento a quanto soprariportato, si riporta di seguito la verifica strutturale delle barre di ancoraggio delle fondazioni dei montanti:

VERIFICA STRUTTURALE BARRE DI ANCORAGGIO		
GEOMETRIA		
Diametro barra di ancoraggio	ϕ_{barra} [mm]	26,5
Area barra di ancoraggio	A_{barra} [mm^2]	551,5
Area resistente al taglio della sezione [A_{res}=3/4*A_{barra}]	A_{res} [m^2]	4,14E-04
MATERIALE		
Acciaio		835/1030
Tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio	f_{yk} [MPa]	835
Coefficiente di sicurezza parziale sui materiali	γ_{M0}	1,15
Tensione di progetto dell'acciaio	f_{yd} [MPa]	726
AZIONI SOLLECITANTI		
Azione assiale di progetto	N_{Ed} [kN]	131,5
Azione tagliante di progetto	V_{Ed} [kN]	103,0
DATI DI PROGETTO		
Tensione di compressione [σ=N_d/A_{barra}]	σ [MPa]	238,42
Tensione tangenziale [τ=T_d/A_{res}]	τ [MPa]	249,00
Tensione ideale [σ_{id}=radq(σ^2+3τ^2)/A_{barra}]	σ_{id} [MPa]	492,79
VERIFICA (Criterio di Von Mises)		**σid< fyd**

Tabella 26: Barriera 3.000kJ – Verifica strutturale delle barre di fondazione dei montanti – Criterio di Von Mises

Essendo soddisfatta la relazione $\sigma_{id} \leq f_{yd}$, la verifica si ritiene soddisfatta.

10 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 2.000 KJ FONDATA SU TERRENO SCIOLTO

10.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE

10.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO

Si riportano di seguito le verifiche strutturali degli ancoraggi:

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**251,0**	[kN]

Tabella 27: Barriera 2.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi laterali Tipo A

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**164,0**	[kN]

Tabella 28: Barriera 2.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi laterali Tipo B

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**182,0**	[kN]

Tabella 29: Barriera 2.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi di monte

Essendo la resistenza a rottura di progetto F_{yd} maggiore delle massime azioni di trazione, le verifiche si ritengono soddisfatte.

10.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dell'interfaccia malta – acciaio:

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	5,5	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	5,5	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	16,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,09	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**992,4**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**251,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**4,0**	-

Tabella 30: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi laterali Tipo A

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,5	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,5	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	14,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,07	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**552,6**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**164,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**3,4**	-

Tabella 31: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi laterali Tipo B

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	4,5	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	4,5	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	14,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,07	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio\text{-}cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**710,4**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**182,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**3,9**	-

Tabella 32: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato, essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

10.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 5,5 [m]
Diametro di perforazione: 0,11 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	5,5	0,11	1,15	0,1265	260	568,3
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:
i Strato i-esimo
l_{si} Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$ Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$ Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$ Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento
$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 568,3 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_{a3} 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 315,72 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 263,1 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,laterali}$ Carico di trazione sugli ancoraggi laterali 251,0 [kN]

Tabella 33: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi laterali Tipo A

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 3,5 [m]
Diametro di perforazione: 0,11 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	3,5	0,11	1,15	0,1265	260	361,6
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:
i Strato i-esimo
l_{si} Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$ Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$ Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$ Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento
$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 361,6 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_{a3} 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 200,91 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 167,4 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,laterali}$ Carico di trazione sugli ancoraggi laterali 164,0 [kN]

Tabella 34: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi laterali Tipo B

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 4,5 [m]
Diametro di perforazione: 0,11 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	4,5	0,11	1,15	0,1265	260	465,0
Unità B	0,0	0,0	0	0	0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 465,0 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)

Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali

Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica

Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

ξ_3 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 258,32 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto

γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 215,3 [kN]

Azione di progetto

$T_{Ed,monte}$ Carico di trazione sugli ancoraggi monte 182,0 [kN]

Tabella 35: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato, essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

10.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI

10.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI

Lunghezza ancoraggio: **2,5** [m]
Diametro di perforazione: **0,09** [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	2,5	0,09	1,15	0,1035	260	211,4
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 211,4 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)

Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali

Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.4.II, 6.4.IV della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica

Fattore di correlazione ξ_3 per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

ξ_3 1,7 [Tab. 6.4.II-IV NTC18]
R_{ak} Resistenza caratteristica 124,32 [kN]

Calcolo resistenza laterale di progetto

γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.6.I NTC18]
R_{ad} Resistenza laterale di progetto **103,6** [kN]

Azione di progetto

n° di ancoraggi di fondazione 2
$N_{Ed,montanti}$ Carico di compressione alla base dei montanti **94,5** [kN]

Tabella 36: Barriera 2.000kJ – Verifica capacità portante a compressione ancoraggi montante

In accordo a quanto riportato, essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

10.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Con riferimento a quanto soprariportato, si riporta di seguito la verifica strutturale delle barre di ancoraggio delle fondazioni dei montanti:

VERIFICA STRUTTURALE BARRE DI ANCORAGGIO		
GEOMETRIA		
Diametro barra di ancoraggio	ϕ_{barra} [mm]	32
Area barra di ancoraggio	A_{barra} [mm^2]	804,2
Area resistente al taglio della sezione [A_{res}=3/4*A_{barra}]	A_{res} [m^2]	6,03E-04
MATERIALE		
Acciaio		B450C
Tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio	f_{yk} [MPa]	450
Coefficiente di sicurezza parziale sui materiali	γ_{M0}	1,15
Tensione di progetto dell'acciaio	f_{yd} [MPa]	391
AZIONI SOLLECITANTI		
Azione assiale di progetto	N_{Ed} [kN]	94,5
Azione tagliante di progetto	V_{Ed} [kN]	80,0
DATI DI PROGETTO		
Tensione di compressione [σ=N_d/A_{barra}]	σ [MPa]	117,50
Tensione tangenziale [τ=T_d/A_{res}]	τ [MPa]	132,63
Tensione ideale [σ_{id}=radq(σ^2+3τ^2)/A_{barra}]	σ_{id} [MPa]	258,03
VERIFICA (Criterio di Von Mises)		**σid< fyd**

Tabella 37: Barriera 2.000kJ – Verifica strutturale delle barre di fondazione dei montanti – Criterio di Von Mises

Essendo soddisfatta la relazione $\sigma_{id} \leq f_{yd}$, la verifica si ritiene soddisfatta.

11 VERIFICHE DI SICUREZZA - BARRIERA TIPO 2.000 KJ FONDATA SU TERRENO ROCCIOSO

11.1 VERIFICHE ANCORAGGI LATERALI E DI MONTE

11.1.1 VERIFICA A ROTTURA SEZIONE IN ACCIAIO

Si riportano di seguito le verifiche strutturali degli ancoraggi:

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**251,0**	[kN]

Tabella 38: Barriera 2.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi laterali Tipo A

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**164,0**	[kN]

Tabella 39: Barriera 2.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi laterali Tipo B

VERIFICA STRUTTURALE DOPPIA FUNE SPIROIDALE			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
F_{yk}	resistenza caratteristica a rottura acciaio fune	690	[kN]
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza [rif. UNI EN 1993-1-11:2007]	1,50	[-]
F_{yd}	resistenza di progetto a snervamento	**460**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**182,0**	[kN]

Tabella 40: Barriera 2.000kJ – Verifica a rottura ancoraggi – ancoraggi di monte

Essendo la resistenza a rottura di progetto F_{yd} maggiore delle massime azioni di trazione, le verifiche si ritengono soddisfatte.

11.1.2 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-ACCIAIO

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dell'interfaccia malta – acciaio:

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	16	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,65	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	3,7	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	16,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,09	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**658,6**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**251,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**2,6**	-

Tabella 41: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi laterali Tipo A

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	2,65	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	2,7	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	14,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,07	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio-cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**418,4**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**164,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**2,6**	-

Tabella 42: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi laterali Tipo B

MATERIALI			
ϕ	diametro fune spiroidale	14	[mm]
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	2,7	[m]
CALCOLO TENSIONE DI ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
η_1	coeff. legato alla qualità delle condizioni di aderenza	0,7	[-]
η_2	coeff. legato al diametro della barra	1,12	[-]
R_{ck}	resistenza caratteristica a compressione cubica del cls	30	[MPa]
f_{ck}	resisstenza caratteristica a compressione cilindrica del cls	25	[MPa]
f_{ctm}	resistenza media a trazione semplice (assiale)	2,6	[MPa]
$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$	valore della resistenza a trazione pura	1,8	[MPa]
f_{bk}	valore caratteristico della tensione di aderenza	3,2	[MPa]
γ_c	coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo	1,5	[-]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
VERIFICA ADERENZA ACCIAIO - CALCESTRUZZO			
$L_{ancoraggio}$	lunghezza dell'ancoraggio	2,7	[m]
ϕ	diametro fune spiroidale	14,0	[mm]
γ_{geom}	fattore di riduzione geometrico	0,85	[mm]
$C_{ancoraggio}$	circonferenza di calcolo delle funi	0,07	[m]
f_{bd}	valore di calcolo della tensione di aderenza	2,1	[MPa]
$R_{d,aderenza\ acciaio\text{-}cls}$	resistenza di progetto di adesione acciaio-cls	**418,4**	[kN]
E_d	azione di progetto di trazione	**182,0**	[kN]
R_d/E_d	verifica aderenza acciaio - calcestruzzo	**2,3**	-

Tabella 43: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-acciaio – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato, essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

11.1.3 VERIFICA A SFILAMENTO ALL'INTERFACCIA MALTA-TERRENO

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 3,7 [m]
Diametro di perforazione: 0,09 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	3,7	0,09	1,15	0,1035	465	551,9
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:
i Strato i-esimo
l_{si} Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$ Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$ Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$ Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento
$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 551,9 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_3 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 306,59 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 255,5 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,laterali}$ Carico di trazione sugli ancoraggi laterali 251,0 [kN]

Tabella 44: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi laterali Tipo A

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 2,7 [m]
Diametro di perforazione: 0,09 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	2,7	0,09	1,15	0,1035	465	400,7
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:
i Strato i-esimo
l_{si} Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$ Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$ Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$ Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento
$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 400,7 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)
Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali
Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica
Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate
ξ_3 1,8 [Tab. 6.6.III]
R_{ak} Resistenza caratteristica 222,60 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto
γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]
R_{ad} Resistenza allo sfilamento 185,5 [kN]

Azione di progetto
$T_{Ed,laterali}$ Carico di trazione sugli ancoraggi laterali 164,0 [kN]

Tabella 45: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi laterali Tipo B

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI IN DOPPIA FUNE SPIROIDALE

Lunghezza ancoraggio: 2,65 [m]
Diametro di perforazione: 0,09 [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	2,7	0,09	1,15	0,1035	465	400,7
Unità B	0,0	0,0	0	0	0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,c}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo allo sfilamento

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 400,7 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)

Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali

Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.6.II, 6.6.III della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica

Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

ξ_{3} 1,8 [Tab. 6.6.III]

R_{ak} Resistenza caratteristica 222,60 [kN]

Calcolo resistenza allo sfilamento di progetto

γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.4.II]

R_{ad} Resistenza allo sfilamento 185,5 [kN]

Azione di progetto

$T_{Ed,monte}$ Carico di trazione sugli ancoraggi monte 182,0 [kN]

Tabella 46: Barriera 2.000kJ – Verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno – ancoraggi di monte

In accordo a quanto riportato, essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

11.2 VERIFICHE FONDAZIONI MONTANTI

11.2.1 VERIFICA DI COLLASSO PER CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DELLE SOLLECITAZIONI ASSIALI

La resistenza nei confronti delle sollecitazioni assiali di compressione e trazione vale:

CAPACITA' PORTANTE ANCORAGGI

Lunghezza ancoraggio: **1,65** [m]
Diametro di perforazione: **0,09** [m]

Terreno	$l_{s,i}$ [m]	$Ø_{perforazione}$ [m]	α_i [-]	$D_{sigillatura,i}$ [m]	$q_{s,i}$ [kPa]	$R_{a,c,i}$ [kN]
Unità A	1,7	0,09	1,15	0,1035	465	249,5
Unità B	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0

Legenda:

i	Strato i-esimo
l_{si}	Lunghezza sigillatura nel tratto i-esimo
α_i	Coefficiente di maggiorazione del diametro (dipende dalla natura e dalla compattezza dei suoli e dalla metodologia di sigillatura, I.R.G. o I.G.U.)
$D_{sigillatura,i}$	Diametro del bulbo di sigillatura
$q_{s,i}$	Attrito laterale unitario limite (strato i-esimo)
$R_{a,c,i}$	Resistenza trazione limite nello strato i-esimo

Determinazione della resistenza di calcolo limite $R_{a,}$ con metodi analitici (M.Bustamante, B. Doix, 1985)

Resistenza limite di calcolo

$R_{a,c}$ Resistenza limite di calcolo 249,5 [kN]

Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018)

Resistenza di progetto R_d dell'ancoraggio soggetto a carichi assiali

Le verifiche devono essere effettuate con la combinazione A1+M1+R3
tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.4.II, 6.4.IV della normativa

Calcolo della resistenza caratteristica

Fattore di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

ξ_3 1,7 [Tab. 6.4.II-IV NTC18]
R_{ak} Resistenza caratteristica 146,75 [kN]

Calcolo resistenza laterale di progetto

γ_s Permanente 1,20 [Tab. 6.6.I NTC18]
R_{ad} Resistenza laterale di progetto **122,3** [kN]

Azione di progetto

n° di ancoraggi di fondazione 2
$N_{Ed,montanti}$ Carico di compressione alla base dei montanti **94,5** [kN]

Tabella 47: Barriera 2.000kJ – Verifica capacità portante a compressione ancoraggi montante

In accordo a quanto riportato, essendo la resistenza di progetto R_d maggiore della massima azione di trazione pari a E_d, le verifiche si ritengono soddisfatte.

11.2.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Con riferimento a quanto soprariportato, si riporta di seguito la verifica strutturale delle barre di ancoraggio delle fondazioni dei montanti:

VERIFICA STRUTTURALE BARRE DI ANCORAGGIO		
GEOMETRIA		
Diametro barra di ancoraggio	ϕ_{barra} [mm]	32
Area barra di ancoraggio	A_{barra} [mm^2]	804,2
Area resistente al taglio della sezione [A_{res}=3/4*A_{barra}]	A_{res} [m^2]	6,03E-04
MATERIALE		
Acciaio		B450C
Tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio	f_{yk} [MPa]	450
Coefficiente di sicurezza parziale sui materiali	γ_{M0}	1,15
Tensione di progetto dell'acciaio	f_{yd} [MPa]	391
AZIONI SOLLECITANTI		
Azione assiale di progetto	N_{Ed} [kN]	94,5
Azione tagliante di progetto	V_{Ed} [kN]	80,0
DATI DI PROGETTO		
Tensione di compressione [σ=N_d/A_{barra}]	σ [MPa]	117,50
Tensione tangenziale [τ=T_d/A_{res}]	τ [MPa]	132,63
Tensione ideale [σ_{id}=radq(σ^2+3τ^2)/A_{barra}]	σ_{id} [MPa]	258,03
VERIFICA (Criterio di Von Mises)		**σid< fyd**

Tabella 48: Barriera 2.000kJ – Verifica strutturale delle barre di fondazione dei montanti – Criterio di Von Mises

Essendo soddisfatta la relazione $\sigma_{id} \leq f_{yd}$, la verifica si ritiene soddisfatta.