

# LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE  
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GENIE CIVIL – OPERE CIVILI

TUNNEL DE BASE – TUNNEL DI BASE  
GALERIE DE LA MADDALENA – GALLERIA DELLA MADDALENA  
DIMENSIONNEMENT – DIMENSIONAMENTO

NOTE DE CALCUL ET DE STABILITE – RELAZIONE DI CALCOLO E DI STABILITA

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/09/2016	Première diffusion / Prima emissione	S. BISCHOFF (AMB)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
A	17.02.2017	Révision suite aux commentaires de TELT / Revisione a seguito commento TELT	S. BISCHOFF (AMB)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
B	31.03.2017	Révision suite aux commentaires de TELT / Revisione a seguito commento TELT	S. BISCHOFF (AMB)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI

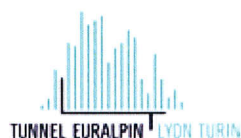


CODE DOC	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>A</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>B</b>
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>T</b>
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	<b>C3A</b>	//	//	<b>26</b>	<b>48</b>	<b>35</b>	<b>10</b>	<b>04</b>
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

<b>ECHELLE / SCALA</b>



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"  
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet  
est cofinancé par  
l'Union européenne  
(DG-TREN)



Questo progetto  
è cofinanziato  
dall'Unione europea  
(TEN-T)

## SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE .....	7
1.1 Generale .....	7
1.2 Area di progetto .....	8
2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO E RELATIVI DOCUMENTI.....	9
2.1 Documenti.....	9
2.2 Norme .....	10
2.3 Software utilizzati .....	10
2.4 Relazioni e elaborati grafici attinenti.....	11
3. BREVE DESCRIZIONE DELLE MISURE PREVISTE .....	12
3.1 Generale.....	12
3.2 Berlese .....	12
3.3 Parete chiodata.....	12
4. ASSETTO GEOTECNICO .....	12
5. CARATTERISTICHE DEL MATERIALE.....	13
5.1 Berlese .....	13
5.2 Parete chiodata in spritzbeton .....	13
6. ESECUZIONE DELLE VERIFICHE .....	14
6.1 Principi e criteri di dimensionamento generali .....	14
6.2 Criteri di verifica.....	14
6.2.1 SLU GEO E STR .....	14
6.2.2 SLE .....	14
6.2.3 Stabilità globale .....	15
7. CALCOLO BERLESE.....	16
7.1 Fasi e parametri di calcolo .....	16
7.2 Carichi.....	16
7.2.1 Spinta delle terre .....	16
7.2.2 Carichi variabili .....	16
7.2.3 Carico sismico.....	16
7.2.4 Acqua .....	18
7.3 Fasi di costruzione .....	18
7.4 Panoramica dei calcoli eseguiti .....	19
7.5 Verifiche Berlese- tubi di acciaio .....	20
7.5.1 SLU .....	20
7.5.2 SLE .....	20
7.6 Prova berlese – Verifiche strutturale sul tirante .....	21
7.6.1 Prova sui trefoli SLU .....	21
7.6.2 Verifica di sfilamento degli ancoraggi.....	22
7.7 Berlese – Verifica a flessione e taglio sulle travi di contrasto.....	23
7.7.1 SLU .....	23
7.7.2 SLE .....	26
7.8 Prova stabilità globale.....	28
7.9 Verifiche stati limite idraulici.....	29
7.10 Verifica fase di costruzione .....	31
7.10.1 SLU.....	32

Notes de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

---

7.10.2	SLE .....	32
7.10.3	Prova berlinese – Verifiche strutturale sul tirante - Prova sui trefoli SLU....	33
7.10.4	Prova ancoraggi .....	33
7.10.5	SLU - Berlinese - Verifiche sulle travi di ancoraggio .....	34
7.10.6	SLE .....	37
7.10.7	Prova stabilità globale .....	39
7.11	Sintesi berlinese - nuova .....	40
7.12	Berlinese – esistente .....	40
8.	CALCOLO PARETE CHIODATA .....	41
8.1	Sezione e parametri di calcolo .....	41
8.2	Carichi.....	41
8.2.1	Spinta delle terre .....	41
8.2.2	Carico variabile .....	41
8.2.3	Carico sismico.....	41
8.2.4	Pressione dell'acqua.....	42
8.3	Fasi di costruzione .....	42
8.4	Panoramica dei calcoli eseguiti .....	42
8.5	Verifica parete chiodata .....	42
8.6	Prova di stabilità globale .....	45
8.7	Sintesi parete chiodata .....	46
9.	INTERVENTI DI MONITORAGGIO.....	46

## LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 : Estratto planimetria terreno del cantiere (dall'elaborato grafico n. PRV_C3A_7582)	7
Figura 2 : Localizzazione del comune di Chiomonte. Fonte: Google Maps	8
Figura 3 : Valutazione deformabilità	18
Figura 4 : Rapporto di $\beta$ e $u_s$ (spostamento)	18
Figura 5 : Calcolo berlinese: SLU – combinazione A1+M1+R1	24
Figura 6 : Calcolo Berlinese: SLU – combinazione A1+M1+R1+sisma	24
Figura 7 : Calcolo Berlinese: SLU – combinazione A2+M2+R1	25
Figura 8 : Calcolo Berlinese: SLU – combinazione A2+M2+R1+sisma	25
Figura 9 : Calcolo Berlinese: SLE	27
Figura 10 : Clacolo Berlinese: SLE- sisma	27
Figura 11 : Calcolo berlinese: combinazione A2+M2+R2	28
Figura 12 : Calcolo berlinese: combinazione A2+M2+R2+sisma	29
Figura 13 : Schizzo del sistema idraulico	30
Figura 14 : Indagini relative alla fasi di costruzioni	32
Figura 15 : Fase di costruzione 1 SLU – combinazione A1+M1+R1	35
Figura 16 : Fase di costruzione 2 SLU – combinazione A1+M1+R1	35
Figura 17 : Fase di costruzione 1 SLU – combinazione A2+M2+R1	36
Figura 18 : Fase di costruzione 2 SLU – combinazione A2+M2+R1	36
Figura 19 : Fase di costruzione 1 SLE	37
Figura 20 : Fase di costruzione 2 SLE	38
Figura 21 : Fase di costruzione 1 combinazione A2+M2+R2	39
Figura 22 : Fase di costruzione 2 combinazione A2+M2+R2+sisma	39
Figura 23 : Calcolo parete chiodata SLU – Combinazione A1+M1+R1	43
Figura 24 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A1+M1+R1+sisma	43
Figura 25 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R1	44
Figure 26 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R1+sisma	44
Figura 27 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R2	45
Figure 28 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R2+sisma	46

## LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 : Relazioni ed elaborati grafici attinenti .....	11
Tabella 2 : Sintesi dei parametri geotecnici per le indagini .....	12
Tabella 3 : Coefficienti parziali di sicurezza effetti .....	14
Tabella 4 : Coefficienti parziali di sicurezza parametri geotecnici .....	14
Tabella 5 : Coefficienti parziali di sicurezza resistenza .....	14
Tabella 6 : Sezione di calcolo .....	16
Tabella 7 : parametri di calcolo geotecnici .....	16
Tabella 8 : parametri di rischio sismico – opere permanenti .....	17
Tabella 9 : Parametro del carico sismico sulla berlinese .....	18
Tabella 10 : Panoramica calcoli eseguiti berlinese .....	19
Tabella 11 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLU .....	20
Tabella 12 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLE .....	20
Tabella 13 : calcolo spostamento orizzontale della berlinese allo SLE .....	20
Tabella 14 : Prova sui trefoli d'acciaio SLU .....	21
Tabella 15 : Verifica di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio .....	22
Tabella 16 : Verifica a flessione e taglio sulle travi di contrasto .....	23
Tabella 17 : Verifica a flessione e taglio sulle travi di contrasto SLE .....	26
Tabella 18 : Stabilità globale berlinese .....	28
Tabella 19 : Sintesi delle verifiche idrauliche .....	31
Tabella 20 : Indagini relative alla fasi di costruzioni del muro di micropali .....	31
Tabella 21 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLU .....	32
Tabella 22 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLE .....	32
Tabella 23 : Prova sui trefoli d'acciaio SLU .....	33
Tabella 24 : Prova sugli ancoraggi SLU .....	33
Tabella 25 : Verifica di piegamento e spinta sulle travi di ancoraggio SLU .....	34
Tabella 26 : Prova di piegamento e spinta sulle travi di ancoraggio SLE .....	37
Tabella 27 : Stabilità globale berlinese .....	39
Tabella 28 : Parete chiodata – Area di calcolo .....	41
Tabella 29 : Parametri di calcolo geotecnici .....	41
Tabella 30 : Parametri del carico sismico sulla parete chiodata .....	42
Tabella 31 : Panoramica calcoli eseguiti su parete chiodata .....	42
Tabella 32 : Prova parete chiodata SLU .....	42
Tabella 33 : Stabilità globale parete chiodata .....	45

## RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport explicatif décrit les mesures constructives requises pour la construction de la zone d'assemblage pour le TBM.

Pour l'érection de la zone de montage, il sera construit une seconde paroi berlinoise raccordée à la paroi existante au sud-ouest du futur portail du tunnel. Au nord-est du futur portail, il sera construit une paroi clouée (béton projeté) pour la sécurité.

Ce qui est requis au cours des travaux pour la couronne du portail ainsi que les spécifications générales pour la place d'installation du TBM ne font pas partie de ce rapport explicatif et seront traités séparément. De plus la paroi berlinoise existante ne fait pas partie du travail. Les spécifications de la paroi berlinoise existante s'appliquent aux prolongements de paroi berlinoise.

La presente relazione descrittiva tratta le opere necessarie per la realizzazione dell'area di montaggio per la fresa.

Per allestire l'area di montaggio sarà realizzata una seconda berlinese attaccata alla berlinese esistente nell'area sud-ovest del futuro portale di galleria. Nell'area nord-est del futuro portale di galleria sarà realizzata una parete chiodata di calcestruzzo proiettato di consolidamento.

La dima di attacco della galleria in fase cantiere e i requisiti generali per l'area di montaggio della fresa non sono oggetto del presente documento, e saranno trattati a parte. Inoltre la berlinese esistente non è oggetto del presente documento. Per il prolungamento della berlinese esistente valgono le medesime direttive impartite per la costruzione della stessa.

# 1. Introduzione

## 1.1 Generale

La presente relazione illustra una sintesi delle Verifiche svolte per la berlinese (a sud-ovest del portale della galleria) e la parete chiodata in calcestruzzo proiettato (a nord-est del portale della galleria), per consentire lo scavo dell'area di montaggio della fresa e il futuro avanzamenti della galleria. Le immagini sotto forniscono una panoramica del terreno su cui si sviluppa il cantiere.

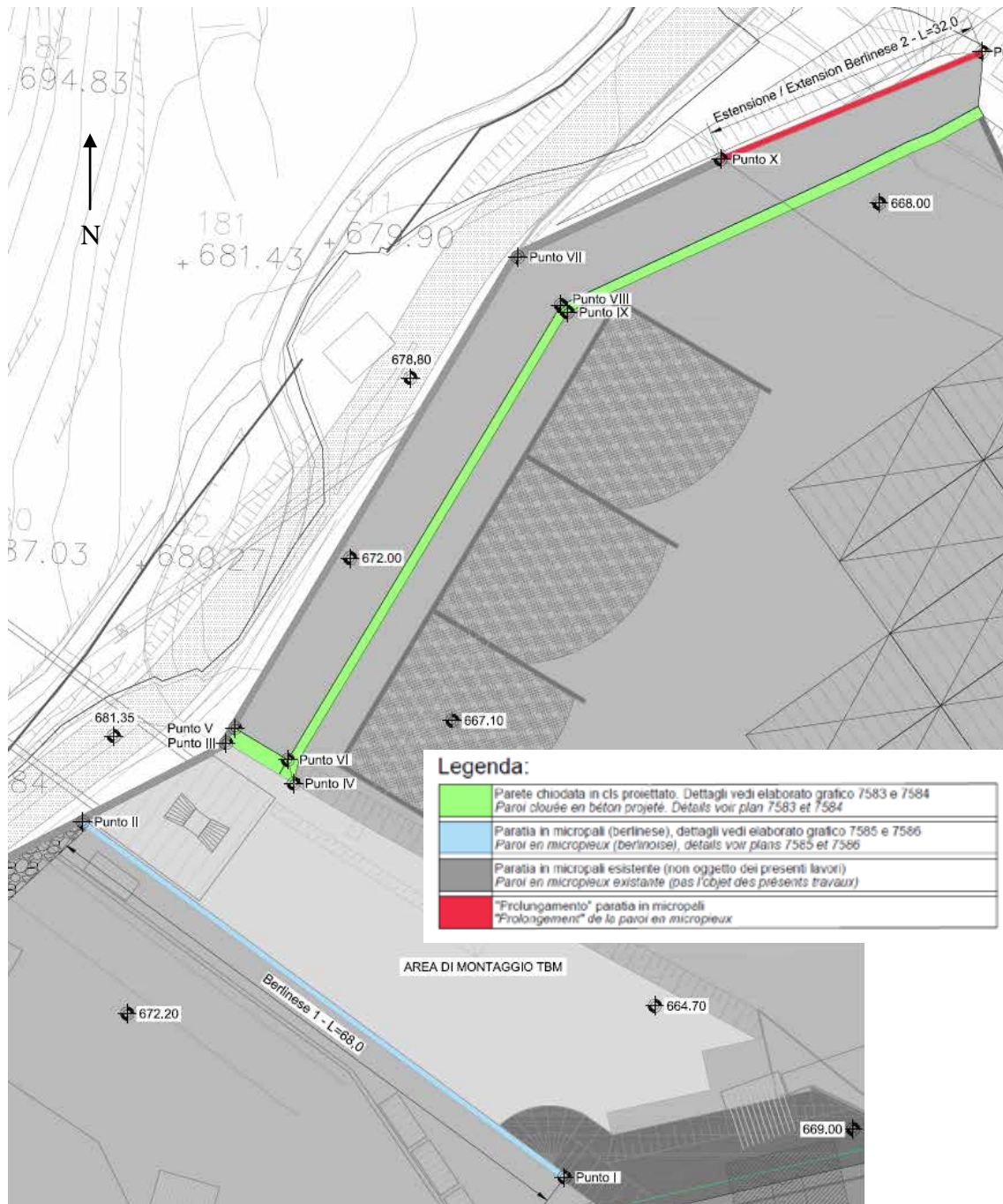


Figura 1 : Estratto planimetria terreno del cantiere (dall'elaborato grafico n. PRV\_C3A\_7582)

Per eseguire le Verifiche sulla berlinese e sulla parete chiodata in calcestruzzo proiettato vengono selezionate sezioni di calcolo caratteristiche, illustrate nella presente relazione.

## 1.2 Area di progetto

Segue una rappresentazione della posizione geografica dell'area di progetto, che rappresenta anche la base per l'analisi e la definizione del rischio sismico. L'area di portale si trova presso il comune di Chiomonte, in provincia di Torino.



Figura 2 : Localizzazione del comune di Chiomonte. Fonte: Google Maps



## 2. Quadro normativo di riferimento e relativi documenti

Si fa riferimento alle seguenti norme e direttive.

### 2.1 Documenti

- [1] MAD\_EXE\_0010\_01-00-00\_10-01\_Indagini area di cantiere - Relazione descrittiva\_A
- [2] MAD\_EXE\_0011\_01-00-00\_10-03\_Indagini area di cantiere-Relazione illustrativa di interpretazione delle indagini\_A
- [3] MAD\_EXE\_0013\_01-00-00\_10-02\_Sondaggio orizzontale da imbocco galleria - Relazione Descrittiva
- [4] MAD\_EXE\_0110\_06-01-00\_10-01\_Relazione Tecnica e di Calcolo\_A
- [5] MAD\_EXE\_0220\_06-01-00\_10-02\_Berlinese - Relazione Campo Verifiche Tiranti\_A
- [6] MAD\_EXE\_0259\_06-01-00\_10-05\_Berlinese - Analisi dei dati di monitoraggio - Nota Tecnica\_A
- [7] MAD\_EXE\_0259\_06-01-00\_10-05\_Berlinese - Analisi dei dati di monitoraggio - Nota Tecnica\_E
- [8] MAD\_EXE\_0328\_06-01-00\_10-08\_Berlinese-Nota tecnica di calcolo
- [9] MAD\_EXE\_VEN\_0468\_06-01-00\_70-10\_Berlinese - Planimetria - Fasi provvisorie - AS BUILT\_A
- [10] MAD\_EXE\_VEN\_0469\_06-01-00\_70-11\_Berlinese - Profilo longitudinale - Fasi provvisorie - AS BUILT\_A
- [11] MAD\_EXE\_VEN\_0470\_06-01-00\_70-12\_Berlinese - Sviluppata - Fasi provvisorie - AS BUILT\_A
- [12] MAD\_EXE\_VEN\_0509\_06-01-00\_70-13\_Berlinese - Sezioni e particolari costruttivi - Fasi provvisorie - AS BUILT\_A
- [13] MAD\_EXE\_VEN\_0510\_06-01-00\_70-14\_Berlinese - Monitoraggio - AS BUILT\_A
- [14] PRV\_C3A\_7543\_26-48-21\_40-01\_Sezione tipo S2\_0
- [15] PRV\_C3A\_7588\_26-48-35\_40-06\_Sezione della berlinese in corrispondenza della galleria Maddalena 2
- [16] PRV\_TS3\_C3A\_26\_482140-01\_7543\_Scavo e sostegno sezione corrente – sezione tipo sostegno S2
- [17] PRV\_TS3\_C3A\_26\_482110\_7541\_Relazione tecnica e di calcolo die sostegni / Rapport technique et de calcul des soutènements
- [18] PRV\_TS3\_C3A\_26\_483440\_7588\_Sezione della berlinese in corrispondenza della galleria

## 2.2 Norme

- [19] D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 – Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008);
- [20] Circolare 02/02/2009 “ Istruzione C.S.LL.PP. per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008;
- [21] Eurocodice 8 (UNI ENV 1998 :5) “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- [22] EC8\_UNI-ENV-1998 :“Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture”;
- [23] EC7\_UNI-ENV-1997 : “Progettazione geotecnica”;
- [24] EC3\_UNI-ENV-1993 : “Progettazione delle strutture in acciaio”;
- [25] EC2\_UNI-ENV-1992 : “Progettazione Strutture in c.a.”;
- [26] Circ. Min. LL.PP 04/07/1996 n.156AA.GG./S.T.C. “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al D.M. LL.PP. 16/01/1996”;
- [27] D.M. LL.PP. 09/01/1996: “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- [28] Circ. Min. LL.PP 15/10/96 n.252 “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996”;
- [29] D.M. LL.PP. 16/01/1996: “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”;
- [30] Circ. Min. LL.PP 10/04/97 n.65 “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. LL.PP. 16/01/1996 ”;
- [31] D.M. LL.PP. 11/03/1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- [32] Circ. Min. LL.PP 24/09/88 n.30483. Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l’applicazione”.
- [33] DIN 4085: Sol – Calcul des poussées et butées des sols

## 2.3 Software utilizzati

Per l’esecuzione delle indagini geotecniche si utilizzano i seguenti software:

- [34] GGU-RETAIN Versione 8.43; Calcolo delle pareti di sostegno.
- [35] GGU-STABILITY Versione 10.63; Analisi dei cedimenti del pendio

## 2.4 Relazioni e elaborati grafici attinenti

Numero relazione												Titolo	Scala
PRV	TS3	C3A	26	48	35	10	03	7580	0	PA	NOT	Rapport descriptif / Relazione illustrativa	
PRV	TS3	C3A	26	48	21	10		7541	0	PA	PLA	Relazione tecnica e di calcolo dei sostegni	
Numero elaborato grafico												Titolo	Scala
PRV	TS3	C3A	26	48	21	40	01	7543	0	PA	PLA	Scavo e sostegno sezione corrente – sezione tipo sostegno S2	
PRV	TS3	C3A	26	48	35	30	05	7582	0	PA	PLA	Vue en plan de la berlinoise et de la paroi clouée / Planimetria della berlinese e della parete chiodata	1:300
PRV	TS3	C3A	26	48	35	40	05	7583	0	PA	PLA	Développée et détails constructifs de la paroi clouée / Sviluppata e particolari costruttivi della parete chiodata	1:200 1:20 1:10
PRV	TS3	C3A	26	48	35	40	06	7584	0	PA	PLA	Coupes type et phases de construction de la paroi clouée / Sezioni tipo e fasi costruttive della parete chiodata	1:200 1:100
PRV	TS3	C3A	26	48	35	40	07	7585	0	PA	PLA	Développée et détails constructifs de la berlinoise / Sviluppata e particolari costruttivi della berlinese	1:200 1:20 1:10
PRV	TS3	C3A	26	48	35	40	08	7586	0	PA	PLA	Coupes type et phases de construction de la berlinoise / Sezioni tipo e fasi costruttive della berlinese	1:200 1:100
PRV	TS3	C3A	26	48	35	40	09	7587	0	PA	PLA	Coupes de monitoring de la paroi clouée et de la berlinoise / Sezioni di monitoraggio della parete chiodata e della berlinese	1:200
PRV	TS3	C3A	26	48	35	40		7588	0	PA	PLA	Sezione della berlinese in corrispondenza della galleria	

**Tabella 1 : Relazioni ed elaborati grafici attinenti**

### 3. Breve descrizione delle misure previste

#### 3.1 Generale

Segue una breve descrizione dei lavori e degli interventi necessari durante la realizzazione del progetto. Di particolare importanza nel corso della costruzione delle pareti di sostegno è la raccolta dei seguenti dati, al fine di poter verificare le ipotesi in corso d'opera:

- Profili di perforazione / successioni degli strati geologici durante i lavori di movimento terra.
- Indagine del livello di falda nel corso della realizzazione delle pareti di sostegno.
- Indagine e documentazione delle caratteristiche del suolo durante i lavori di scavo.

#### 3.2 Berlinese

A sud-ovest del futuro portale della galleria, per consolidare l'area di montaggio della fresa, è prevista la realizzazione di una berlinese, che si estende per circa 68 m con un'altezza di scavo costante di circa 7,5 m. Per una descrizione più approfondita si rimanda alla relazione descrittiva n. PRV\_C3A\_7580 e ai relativi elaborati grafici di cui al capitolo 5.1. Le relative caratteristiche del materiale per il dimensionamento si trovano al capitolo 5.

#### 3.3 Parete chiodata

Nell'area a nord-est del cantiere lo scavo viene consolidato con una parete chiodata di spritzbeton, che corre quasi parallela alla pre-esistente belinese, a una distanza minima di 7 m da essa. La parete chiodata è lunga circa 120 m e alta circa 4-7 m. Per una descrizione più approfondita si rimanda alla relazione descrittiva n. PRV\_C3A\_7580 e ai relativi elaborati grafici di cui al capitolo 8. Le relative caratteristiche del materiale per il dimensionamento si trovano al capitolo 5.

### 4. Assetto geotecnico

Le informazioni contenute nel presente capitolo sono state estrapolate dalla relazione MAD\_EXE\_0011\_01-00-00\_10-03 [2].

La parte centrale e più alta del sostegno si trova prevalentemente in un deposito "glaciale indifferente" (unità "GI"), leggermente costipato, arenario-siltoso e siltoso-arenario con ghiaia. Il resto della tratta, caratterizzato da una profondità di pochi metri, comprende depositi di conoidi alluvionali (coni di deiezione)/misti (unità "AL"). formati da sabbie ghiaiose e ghiaia sabbiosa con silt.

Le caratteristiche meccaniche (resistenza a taglio e rigidità) sono state ottenute mediante una serie di Verifiche di taglio dirette e Verifiche con il pressiometro secondo le specifiche di Menard.

La seguente tabella sintetizza i parametri geotecnici del suolo rilevanti per le sezioni di calcolo. Per sicurezza vengono impiegati i parametri del Dep.1.

Nome	Profondità (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]
Dep.1	0-10	20	30	0
Dep.2	>10	20	30	10

**Tabella 2 : Sintesi dei parametri geotecnici per le indagini**

## 5. Caratteristiche del materiale

### 5.1 Berlinese

Per la realizzazione dell'opera vengono impiegati i seguenti materiali:

- Acciaio per micropalo: S355;
- Calcestruzzo trave di testa paratia: C25/30;
- Calcestruzzo micropalo: C25/30;
- Acciaio per armatura: B 450 C;
- Acciaio per travi delle testate di ancoraggio: S355;
- Malta di riempimento: C25/30;
- Calcestruzzo proiettato: C25/30;
- Reti di armatura elettrosaldate: B 450 C;
- Acciaio per precompressione:  $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$ ;  $f_{pyk} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$ ;
- Tubo di drenaggio perforato in PVC

### 5.2 Parete chiodata in spritzbeton

Per la realizzazione dell'opera vengono impiegati i seguenti materiali:

- § Rivestimento in calcestruzzo proiettato parete chiodata: C25/30;
- § Acciaio di armatura: B 450 C;
- § Acciaio per chiodi / tiranti:  $f_{tk} \geq 550 \text{ N/mm}^2$
- § Chiodi / tiranti lunghezza 6m:
  - Carico di rottura  $\geq 170 \text{ N/mm}^2$ ;  $\Phi \geq 20 \text{ mm}$
- § Chiodi / tiranti lunghezza 15 m:
  - Carico di rottura  $\geq 330 \text{ N/mm}^2$ ;  $\Phi \geq 28 \text{ mm}$
- § Malta per ancoraggio: C25/30;
- § Tubo di drenaggio perforato in PVC e strisce di geotessile

## 6. Esecuzione delle verifiche

### 6.1 Principi e criteri di dimensionamento generali

La verifica si svolge secondo le indicazioni delle N.T.C. 2008 e delle pareti di sostegno già realizzate e approvate (per il quadro di riferimento si veda il cap 2.2). La seguente tabella sintetizza i coefficienti parziali di sicurezza impiegati.

Effetto	Coefficiente parziale di sicurezza $\gamma$		Effetto	Coefficiente parziale di sicurezza $\gamma$	
	A1	A2		A1	A2
Costante, sfavorevole	1,30	1,00	Variabile, sfavorevole	1,50	1,30
Costante, favorevole	1,00	1,00	Variabile, favorevole	0,00	0,00

Tabella 3 : Coefficienti parziali di sicurezza effetti

Parametri geotecnici		Coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_m$		Parametri geotecnici		Coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_m$	
		M1	M2			M1	M2
Coesione drenata	$c'$	1,00	1,25	Angolo di attrito	$\tan f'$	1,00	1,25
Coesione non drenata	$c_u$	1,00	1,40	Peso specifico	$g$	1,00	1,00

Tabella 4 : Coefficienti parziali di sicurezza parametri geotecnici

R1	R2	R3
1.0	1.1	1.2

Tabella 5 : Coefficienti parziali di sicurezza resistenza

Le verifiche sismiche allo SLU e SLE sono state eseguite secondo il principio pseudo-statico. E' stata applicata un'accelerazione equivalente (costante in spazio e tempo), definendo i componenti orizzontali e verticali in dipendenza delle caratteristiche del movimento del sisma nel terreno rilevante per l'opera e in dipendenza della capacità di poter ipotizzare deformazioni senza perdite significative di stabilità.

### 6.2 Criteri di verifica

#### 6.2.1 SLU GEO E STR

Si deve rispettare la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Si devono eseguire le verifiche per 2 combinazioni (A1+M1+R1 e A2+M2+R1) in ottemperanza al D.M. 14/01/2008. . Le medesime combinazioni valgono anche sotto carico sismico, nel qual caso i coefficienti di sicurezza degli effetti possono essere equiparati a 1.

#### 6.2.2 SLE

I coefficienti sicurezza sul lato effetti vengono equiparati a 1 (applicazione dei parametri geotecnici e delle resistenze del progetto; "Valore di dimensionamento" delle resistenze).

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

---

Tensioni di riferimento generiche da mantenere:

$$s_c < 0.45 f_{ck} \text{ per cls (} f_{ck} = \text{resistenza a compressione cilindrica)}$$

$$s_s < 0.8 f_{yk} \text{ per acciaio (limite di snervamento)}$$

### ***6.2.3 Stabilità globale***

Ai sensi delle NTC 2008 la stabilità globale viene applicata con la combinazione A2+M2+R2.

## 7. Calcolo Berlinese

### 7.1 Fasi e parametri di calcolo

Il sostegno mediante berlinese viene analizzato su una sezione rappresentativa con il software GGU Retain o GGU Stability. Le seguenti specificazioni sono valide per la verifica delle condizioni finali. Le verifiche della fase di costruzione sono illustrate nel capitolo 7.10.

Calcolo	Altezza complessiva [m]	Altezza scavo [m]	Prof. infissione [m]	Serie di ancoraggi [-]
1	17,25	8 <sup>(1)</sup>	9,25	2

<sup>(1)</sup> ... per sicurezza il calcolo si basa sull'altezza di scavo di progetto (bordo inferiore terreno di fondazione) portata da 664,7 a 664,2 (cioè più profonda di 0,5 m)

Tabella 6 : Sezione di calcolo

Segue una lista in forma tabellare dei parametri geotecnici alla base del calcolo (per sicurezza si considera solo lo strato Dep. 1). Per ulteriori dettagli si rimanda ai plot di calcolo.

Combinazione	A1+M1+R1				A2+M2+R2			
	g [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	f' [°]	k [-]	g [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	f' [°]	k [-]
Dep. 1	20	0	30	0.39	20	0	24.8	0.46

Tabella 7 : parametri di calcolo geotecnici

Spinta Attiva:  $k_a = \cos^2 j / [1 + (\sin(j + d) * \sin j / \cos d)^{0.5}]^2$

Spinta a riposo:  $k_0 = 1 - \sin j$

k =  $0.5 * (k_a + k_0)$

d =  $2/3 j$

Per ulteriori dettagli si rimanda ai plot di calcolo.

### 7.2 Carichi

#### 7.2.1 Spinta delle terre

Questa viene calcolata all'interno del programma e analizzata con l'indicazione di un angolo di attrito della parete di  $\delta = 2 * \phi / 3$  (50% di spinta attiva aumentata e 50% spinta a riposo). Per ulteriori dettagli si rimanda ai plot di calcolo.

#### 7.2.2 Carichi variabili

Al di sopra della berlinese si applica un carico variabile di 10 kN/m<sup>2</sup>, per sicurezza esteso all'infinito, per tenere conto dei possibili carichi di accumulo e di trasporto.

#### 7.2.3 Carico sismico

Il carico sismico è stato applicato come da DM2008 (per il quadro di riferimento si veda il cap 2.2). L'intensità del sisma (l'accelerazione orizzontale  $a_g$ ) si definisce a seconda della posizione geografica e della durata di utilizzo ( $V_N$ ).

Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100



Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore di riferimento  $V_R$  si calcola dalla durata di utilizzo e dal coefficiente  $C_U$ , che caratterizza l'utilizzo dell'opera. Per opere infrastrutturali della classe II (si vedano NTC 2008 par. 2.4.2) equivale a 1 (NTC 2008 par.2.4.3 tab. 2.4.I).

Ora si definiscono la probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  e il periodo di ritorno  $T_R$ .

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per le Verifiche sismiche si considerano i seguenti parametri:

- §  $V_N = 100$  anni per opere permanenti;
- § Classe di utilizzo II (opere infrastrutturali)
- §  $C_U = 1$  (coefficiente di utilizzo)

Parametri ipotizzati per i diversi stati limite (calcolati con geostru.com):

Stato limite	$P_{VR}$ %	$T_R$	$a_g$ [g]	$F_0$
SLD	63	101	0,073	2,425
SLV	10	949	0,166	2,491

Tabella 8 : parametri di rischio sismico – opere permanenti

Per la berlinese risulta il coefficiente orizzontale di accelerazione secondo il parametro 7.11.6.3 – N.T.C.2008 als:

$$k_h = a_g * S_s * S_T * a * b$$

con:

- $a$  : Coefficiente di deformabilità del suolo;
- $b$  : Coefficiente di deformabilità ammessa del sistema geotecnico;
- $S_s$  : Coefficiente di amplificazione a seguito di stratigrafia (tabella 3.2.V - N.T.C.2008);
- $S_T$  : Coefficiente di amplificazione a seguito di topografia (tabelle 3.2.IV e VI - N.T.C.2008);

Ai sensi delle NTC l'accelerazione verticale non viene considerata. Di conseguenza si applica  $k_v = 0$ . Il coefficiente  $a \leq 1$  si definisce in dipendenza dell'altezza del sostegno  $H$  e della categoria del suolo, in base alla seguente tabella. In questo caso si considera la categoria di terreno C con un'altezza complessiva della parete a micropali di 17,25 m. Applicando  $\beta \leq 1$  si assume che il terreno è in grado di accogliere determinate deformazioni  $u_s$ , compatibil con l'opera, dove  $u_s$  deve essere miniore di  $0.005 * \text{altezza del sostegno}$ . Nel presente caso  $u_s$  corrisponde a 30 mm.

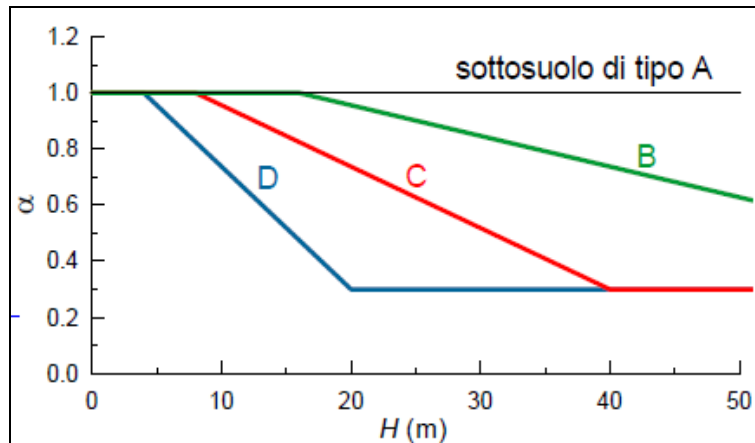


Figura 3 : Valutazione deformabilità

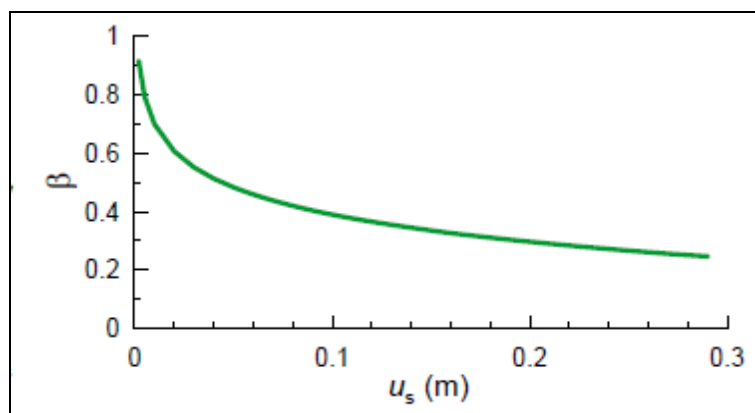


Figura 4 : Rapporto di  $\beta$  e  $u_s$  (spostamento)

La seguente tabella sintetizza i parametri calcolati:

Stato limite	Categoria del suolo	fattore $S_s$	fattore $S_T$	fattore $a$	fattore $b$	Coefficiente $K_h$
SLD	C	1.5	1,2	0.8	0.54	0.057
SLV	C	1.45	1,2	0.8	0.54	0.125

Tabella 9 : Parametro del carico sismico sulla berlinese

#### 7.2.4 Acqua

Secondo la documentazione di riferimento all'inizio il livello di falda si trova a circa 2,0 m sotto il piano campagna. Sulla base delle misure di drenaggio da installare si assume che il livello di falda si abbassi ad ogni fase di scavo e si venga a trovare alla fine sul lato terra a circa 2,0 m sopra la quota di scavo. Questa ipotesi deve essere osservata e verificata in fase di realizzazione.

#### 7.3 Fasi di costruzione

Per i dettagli si veda l'elaborato grafico n. 7586.

#### 7.4 Panoramica dei calcoli eseguiti

La tabella seguente contiene i calcoli eseguiti:

Calcoli				Fig.
Stato limite ultimo (SLU)	SLU-1	A1+M1+R1	Statica A1+M1+R1	Figura 5
	SLU-2	A2+M2+R1	Statica A2+M2+R1	Figura 7
	SLU-1 SEI (SLV)	A1+M1+sisma SLV	Sismica A1+M1+R1	Figura 6
	SLU-2 SEI (SLV)	A2+M2+sisma SLV	Sismica A2+M2+R1	Figura 8
Stato limite di esercizio (SLE)	SLE	Coeff. unità	Statica	Figura 9
	SLE-SEI (SLD)	Coeff. unità + sisma SLD	Sismica SLD	Figura 10
Stabilità globale (SLU)	SLU-2	A2+M2+R2	Statica A2+M2+R2	Figura 11
	SLU-2 SEI (SLV)	A2+M2+sisma SLV	Sismica A2+M2+R2	Figura 12
Prova idraulica sifonamento			Si veda il capitolo 7.9	x
Verifiche fase di costruzione			vedi capitolo 7.10	

**Tabella 10 : Panoramica calcoli eseguiti berlinese**

## 7.5 Verifiche Berlinese- tubi di acciaio

### 7.5.1 SLU

Segue una lista degli esiti delle Verifiche per ogni calcolo:

Prova di tensione		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
		Statica	Sismica	Statica	Sismica
$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	33.81	33.81	33.81	33.81
$\sigma_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	13.74	10.35	12.54	13.25
$\mu$	[-]	<b>0.41 &lt; 1.0</b>	<b>0.31 &lt; 1.0</b>	<b>0.37 &lt; 1.0</b>	<b>0.39 &lt; 1.0</b>

Tabella 11 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLU

La verifica è soddisfatta per  $\mu \leq 1$

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

La verifica "collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera" è inclusa nel calcolo del programma medesimo e non viene presentata separatamente.

### 7.5.2 SLE

La verifica di tensione allo SLE è sempre soddisfatta dato che la tensione massima di 284 MPa non viene mai raggiunta. I relativi valori di spostamento devono essere verificati in fase esecutiva.

Prova di tensione		SLE	
		Statica	Sismica
$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	28.4	28.4
$\sigma_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	9.84	8.93
$\mu$	[-]	<b>0.35 &lt; 1</b>	<b>0.31 &lt; 1</b>

Tabella 12 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLE

Spostamento orizzontale		SLE	
		Statica	Sismica
$W_{max}$	[mm]	~ 6 mm	~ 7 mm

Tabella 13 : calcolo spostamento orizzontale della berlinese allo SLE

La verifica è soddisfatta per  $\mu \leq 1$

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

## 7.6 Prova berlinese – Verifiche strutturale sul tirante

In seguito vengono illustrate le Verifiche contro l'estrazione del solido di iniezione dal suolo e contro il danneggiamento dei trefoli d'acciaio.

### 7.6.1 Prova sui trefoli SLU

Posiz. ancora ggi	Prova forza ancoraggi		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
			Statica	Sismica	Statica	Sismica
sopra	$n_{Litzen}^{(1)}$	[-]	2	2	2	2
	A,Rd	[kN]	416.8	413.1	416.8	413.1
	A,Ed	[kN]	149.7	104.9	137.3	125.9
	$\mu$	[-]	<b>0.36</b>	<b>0.25</b>	<b>0.33</b>	<b>0.30</b>
sotto	$n_{Litzen}$	[-]	3	2	3	3
	A,Rd	[kN]	624.8	413.1	624.8	620.1
	A,Ed	[kN]	534.7	392.2	487.9	487.1
	$\mu$	[-]	<b>0.86 &lt; 1</b>	<b>0.95 &lt; 1</b>	<b>0.78 &lt; 1</b>	<b>0.79 &lt; 1</b>

*(1) Teoricamente, nei calcoli condotti si mostra necessario per la fase finale solamente un trefolo (qualità dell'acciaio Y1860....etc). Per motivi pratici di realizzazione e per la verifica della fase di costruzione sono da prevedersi come minimo 2 trefoli.*

**Tabella 14 : Prova sui trefoli d'acciaio SLU**

La verifica è soddisfatta per  $\mu \leq 1$

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

### 7.6.2 Verifica di sfilamento degli ancoraggi

Sia per il caso statico che dinamico vale  $E_d \leq R_d$ , dove  $R_d$  si definisce come segue:

$$R_d = \frac{\rho \times D \times a \times L_a \times t_{LIM}}{g_R}$$

dove:

$D$ : diametro del foro

$a = 1$ : coefficiente per l'amplificazione a seconda della procedura di iniezione e del tipo di suolo

$L_a$ : Lunghezza del solido di iniezione

$t_{LIM}$ : sforzo di taglio di calcolo trasmissibile tra il solido di iniezione e il suolo

$g_R$ : Sicurezza parziale per la resistenza di ancoraggi precompressi uguale 1.2

L'iniezione deve essere eseguita con alta pressione e ripetuta utilizzando materiale di iniezione con  $R_{ck} > 25\text{MPa}$ .

La tensione di connessione fra il materiale di iniezione e il terreno può essere fissato a 150 kPa, in considerazione dei dati disponibili e delle sicurezze parziali previste dalla norma.

Se i tiranti di prova dovessero fornire risultati contrastanti, occorre adattare le lunghezze di ancoraggio.

Per la resistenza allo strappo, viene assunto il valore  $t_{LIM}$ . In questo caso, i fattori di sicurezza e di correlazione sono inclusi. Ciò corrisponde all'approccio utilizzato per l'analisi strutturale della berlinese esistente. Così, lo stesso livello di sicurezza viene raggiunto.

Posiz. ancora ggio	Verifica di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
			Statica	Sismica	Statica	Sismica
sopra	$\mu$	[-]	0.25	0.18	0.23	0.21
sotto	$\mu$	[-]	0.91 < 1.0	0.67 < 1.0	0.83 < 1.0	0.83 < 1.0

Tabella 15 : Verifica di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio

La verifica è soddisfatta per  $\mu \leq 1$

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

## 7.7 Berlinese – Verifica a flessione e taglio sulle travi di contrasto

### 7.7.1 SLU

Posizion e ancorag gio	Verifica tensioni		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
			Statica	Sisimica	Statica	Sismica
sopra	$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	33.81	33.81	33.81	33.81
	$\sigma_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	4.7	3.3	4.3	4.0
	$\mu$	[-]	<b>0.14 &lt; 1.0</b>	<b>0.10 &lt; 1.0</b>	<b>0.13 &lt; 1.0</b>	<b>0.12 &lt; 1.0</b>
	$\tau_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	19.52	19.52	19.52	19.52
	$\tau_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	3.3	2.3	3.0	2.8
	$\mu$	[-]	<b>0.17 &lt; 1.0</b>	<b>0.12 &lt; 1.0</b>	<b>0.15 &lt; 1.0</b>	<b>0.14 &lt; 1.0</b>
	$\sigma_{v,r}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	33.81	33.81	33.81	33.81
	$\sigma_{v,d}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	7.4	5.2	6.8	6.2
	$\mu$	[-]	<b>0.22 &lt; 1.0</b>	<b>0.15 &lt; 1.0</b>	<b>0.20 &lt; 1.0</b>	<b>0.18 &lt; 1.0</b>
sotto	$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	33.81	33.81	33.81	33.81
	$\sigma_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	16.9	12.4	15.5	15.4
	$\mu$	[-]	<b>0.50 &lt; 1.0</b>	<b>0.37 &lt; 1.0</b>	<b>0.46 &lt; 1.0</b>	<b>0.46 &lt; 1.0</b>
	$\tau_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	19.52	19.52	19.52	19.52
	$\tau_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	11.7	8.6	10.7	10.7
	$\mu$	[-]	<b>0.60 &lt; 1.0</b>	<b>0.44 &lt; 1.0</b>	<b>0.55 &lt; 1.0</b>	<b>0.55 &lt; 1.0</b>
	$\sigma_{v,r}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	33.81	33.81	33.81	33.81
	$\sigma_{v,d}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	26.4	19.4	24.1	24.1
	$\mu$	[-]	<b>0.78 &lt; 1.0</b>	<b>0.57 &lt; 1.0</b>	<b>0.71 &lt; 1.0</b>	<b>0.71 &lt; 1.0</b>

Tabella 16 : Verifica a flessione e taglio sulle travi di contrasto

La verifica è soddisfatta per  $\mu \leq 1$

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

Nota de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

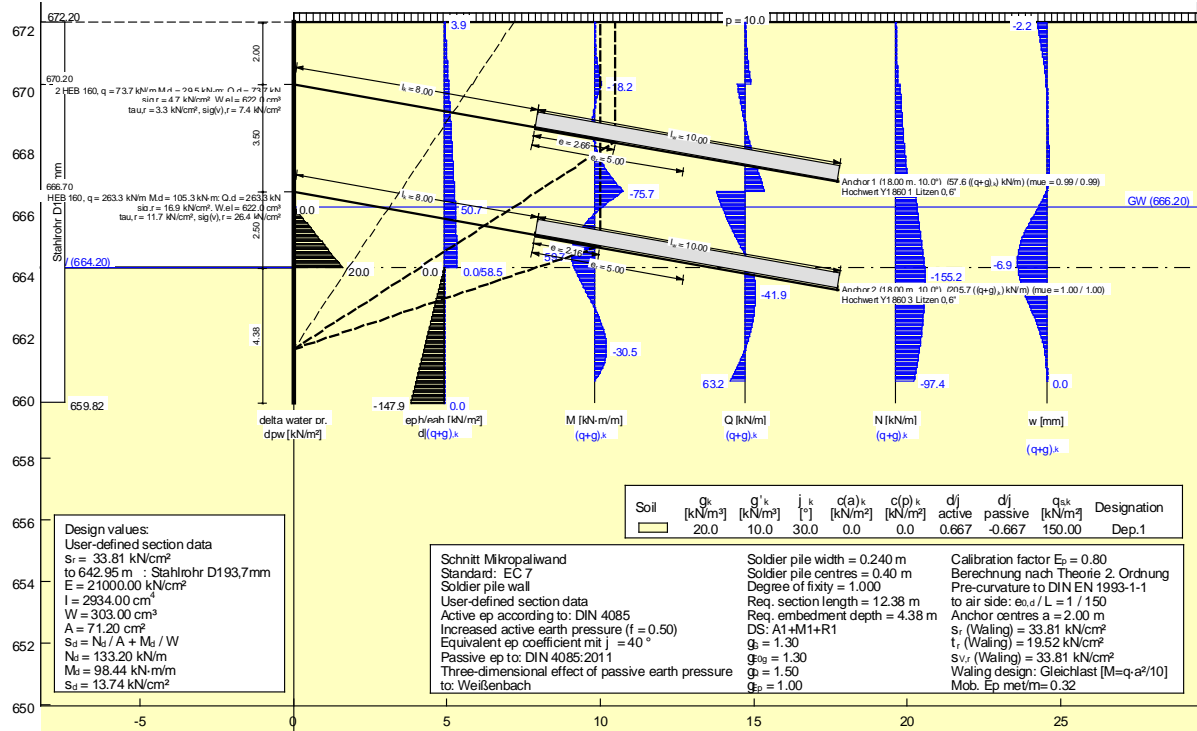


Figura 5 : Calcolo berlinese: SLU – combinazione A1+M1+R1

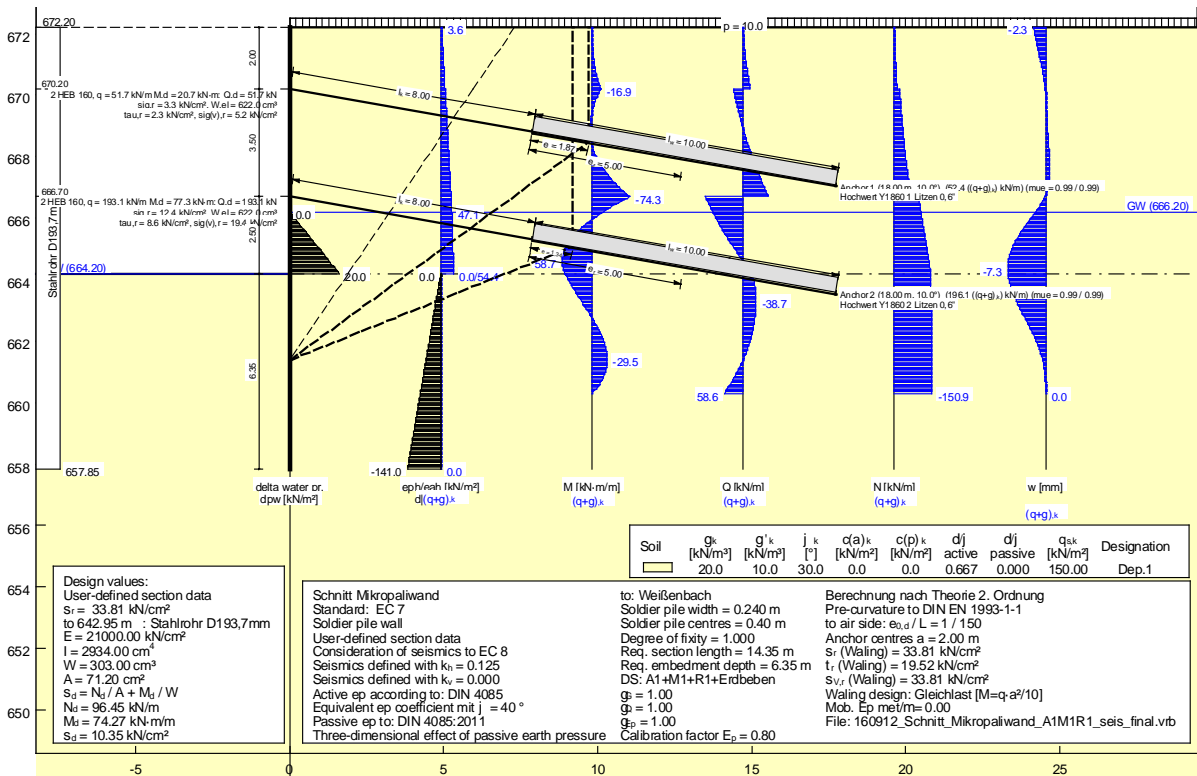


Figura 6 : Calcolo Berlinese: SLU – combinazione A1+M1+R1+sisma



Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

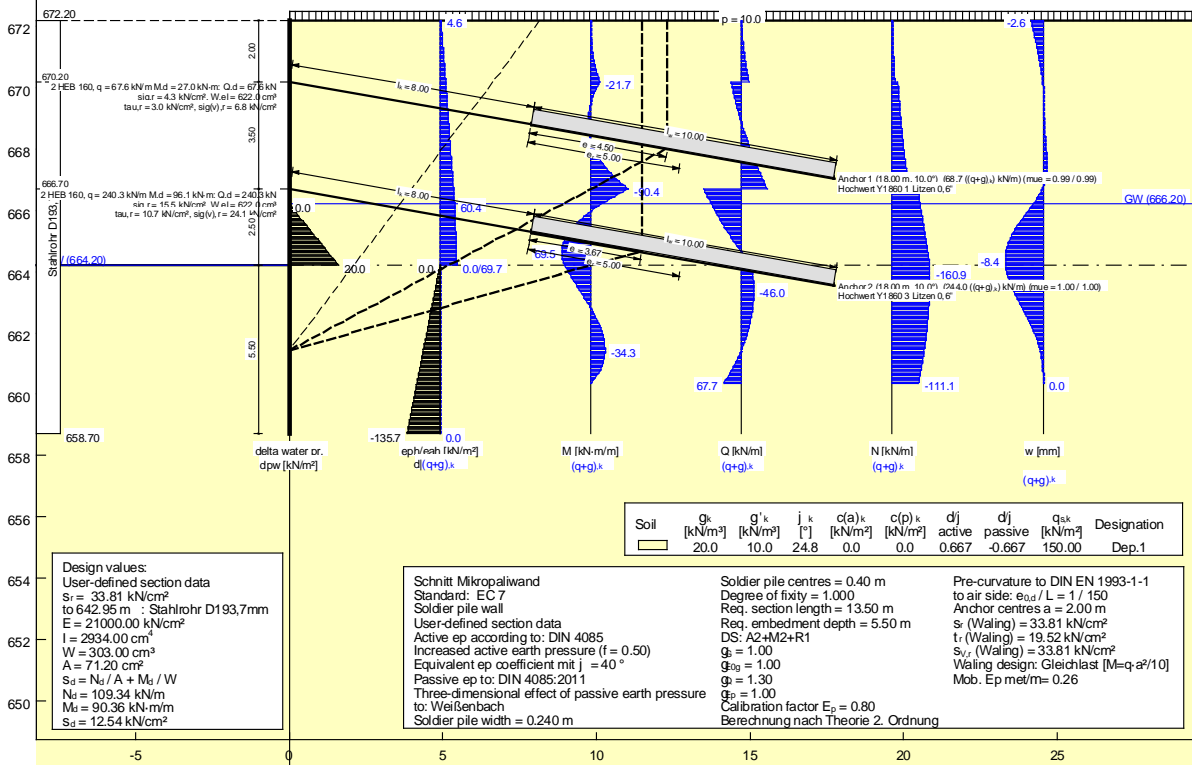


Figura 7 : Calcolo Berlinese: SLU – combinazione A2+M2+R1

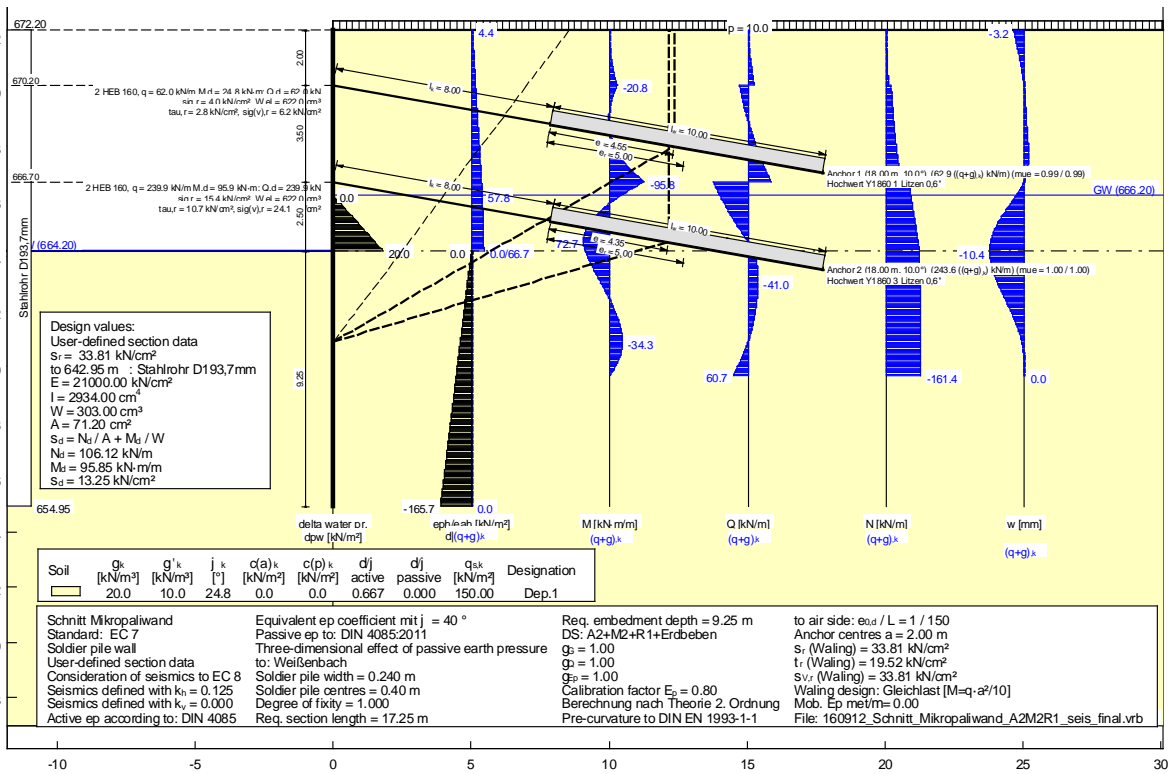


Figura 8 : Calcolo Berlinese: SLU – combinazione A2+M2+R1+sisma

### 7.7.2 SLE

Verifica delle Tensioni N-O		SLE			
		Statica	Sismica	Statica	Sismica
Posiz. ancor.		sopra		sotto	
$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	28.4	28.4	28.4	28.4
sig,r	[kN/cm <sup>2</sup> ]	3.7	2.9	12.6	10.8
$\mu$	[-]	<b>0.13 &lt; 1.0</b>	<b>0.10 &lt; 1.0</b>	<b>0.44 &lt; 1.0</b>	<b>0.38 &lt; 1.0</b>
$\tau_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	16.4	16.4	16.4	16.4
tau,r	[kN/cm <sup>2</sup> ]	2.6	2.0	8.7	7.5
$\mu$	[-]	<b>0.16 &lt; 1.0</b>	<b>0.12 &lt; 1.0</b>	<b>0.53 &lt; 1.0</b>	<b>0.46 &lt; 1.0</b>
$\sigma_{v,r}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	28.4	28.4	28.4	28.4
sig(v),r	[kN/cm <sup>2</sup> ]	5.8	4.5	19.7	16.9
$\mu$	[-]	<b>0.20 &lt; 1.0</b>	<b>0.16 &lt; 1.0</b>	<b>0.69 &lt; 1.0</b>	<b>0.60 &lt; 1.0</b>

Tabella 17 : Verifica a flessione e taglio sulle travi di contrasto SLE

La verifica è soddisfatta per  $\mu \leq 1$

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

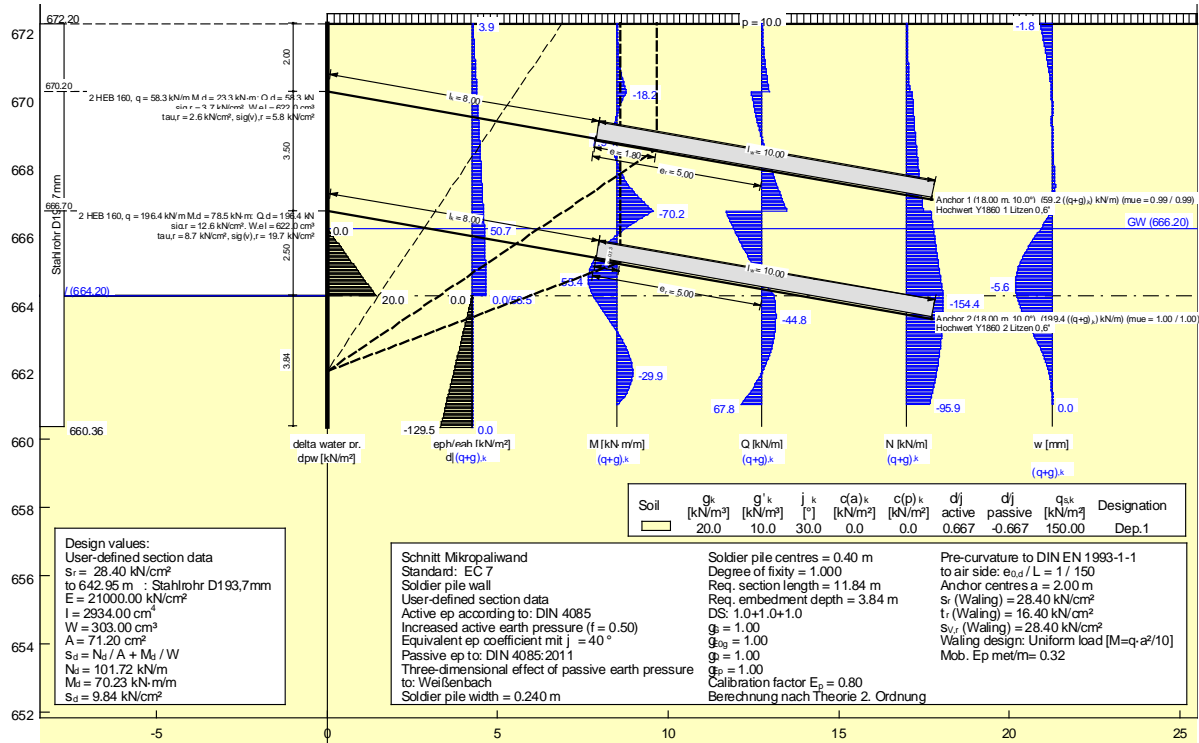


Figura 9 : Calcolo Berlinese: SLE

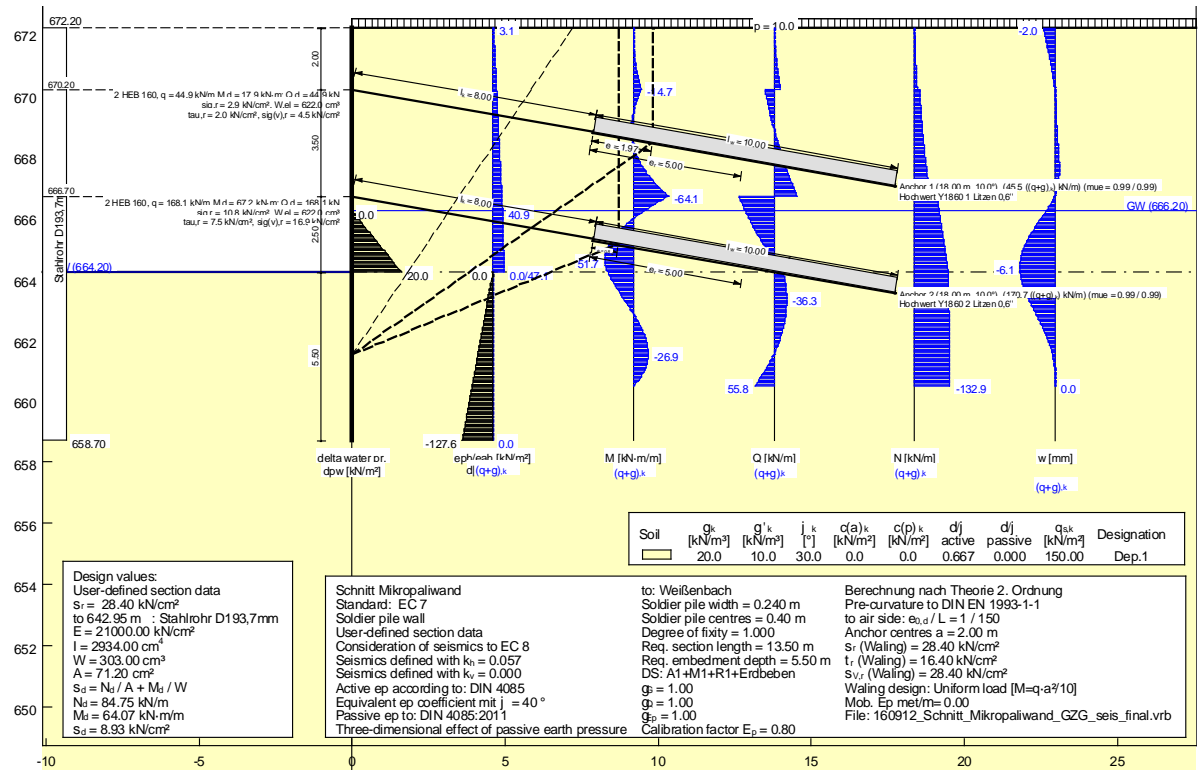


Figura 10 : Clacolo Berlinese: SLE- sisma

### 7.8 Prova stabilità globale

La verifica di stabilità globale si esegue secondo il metodo di analisi della stabilità della scarpata di Bishop con il software GGU Stability. I carichi sismici vengono considerati secondo il principio pseudo-statico descritto al paragrafo 7.2.3. I calcoli vengono eseguiti per la combinazione A2+M2+R2. Nella tabella seguente sono elencati i risultati delle Verifiche per ogni calcolo:

Verifiche	A2+M2+R2	
	Statica	Sismica
Stabilità globale	m= 0,67*1,1 (R2)= 0,74 ≤ 1,0 Verifica soddisfatta	m= 0,89*1,1 (R2) = 0,98 ≤ 1,0 Verifica soddisfatta

Tabella 18 : Stabilità globale berlinese

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

Nelle seguenti figure sono illustrate le superfici di scorrimento rilevanti con i relativi gradi di sfruttamento massimo.

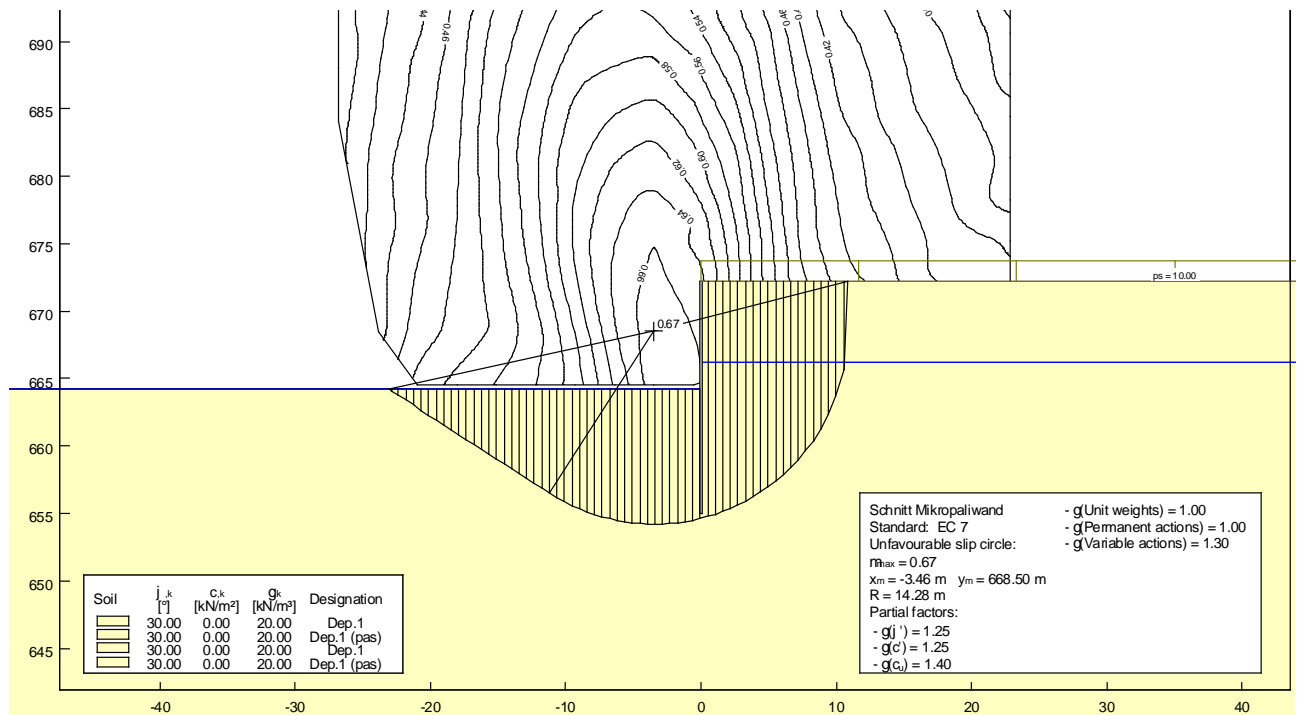


Figura 11 : Calcolo berlinese: combinazione A2+M2+R2

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

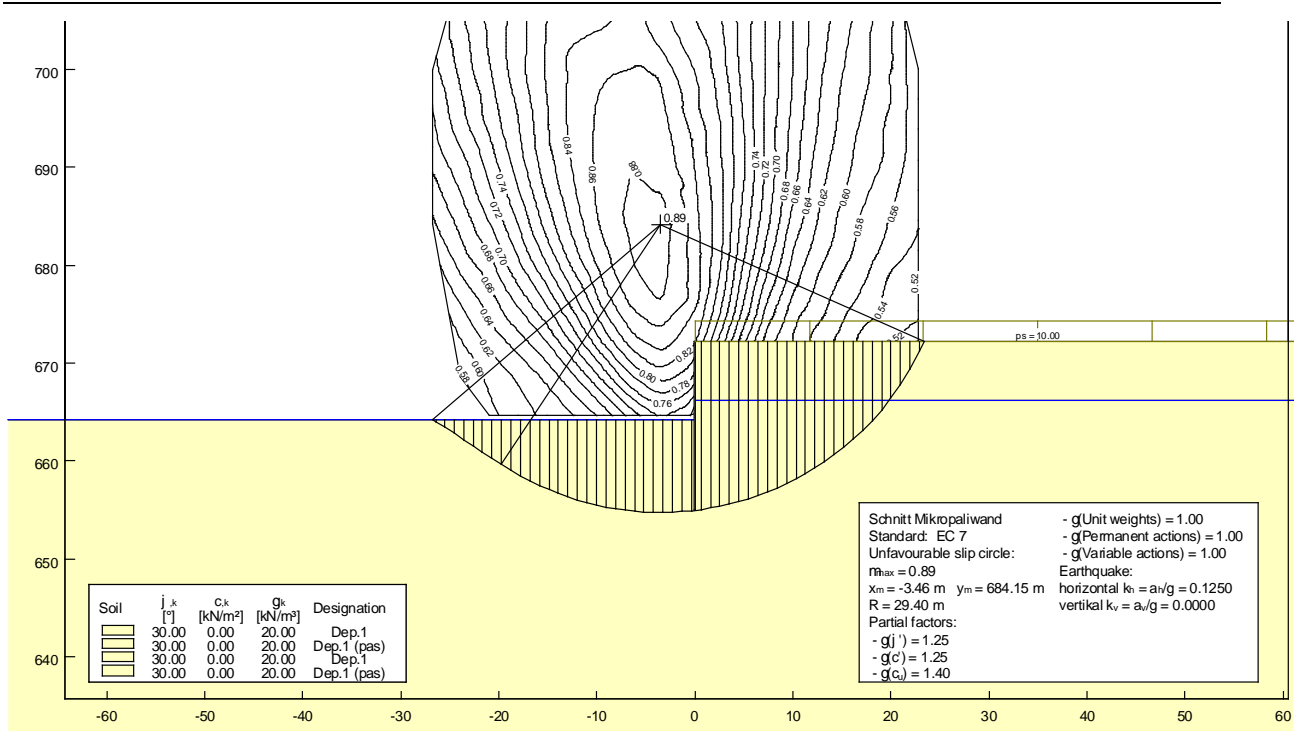


Figura 12 : Calcolo berlinese: combinazione A2+M2+R2+sisma

### 7.9 Verifiche stati limite idraulici

Le verifiche degli stati limite idraulici (HYD) sono state eseguite come prevedono le NTC 2008, paragrafo 6.5.3.1.2 (quadro di riferimento si veda il capitolo 2.2). Sono comprese la verifica del mantenimento del gradiente idraulico critico e la verifica al sifonamento idraulico. Le considerazioni si basano sulle condizioni stazionarie del flusso della falda. La verifica del gradiente idraulico critico è stata eseguita nel seguente formato:

$$I_C / I_E > 1$$

Dove:

- $I_C = \gamma' / \gamma_w$       *gradiente idraulico critico*  
 $I_E = \Delta h / L$       *gradiente idraulico di flusso*  
 $\gamma'$                       *peso specifico effettivo del suolo*  
 $\gamma_w$                       *peso specifico dell'acqua*

Il gradiente idraulico di flusso è una funzione della differenza di pressione  $\Delta h$ , della permeabilità del suolo e del percorso di filtrazione  $L$ . Nel caso in oggetto non è stata considerata la permeabilità del suolo, poichè si ipotizza un suolo omogeneo. Il fattore minimo di sicurezza si definisce di 3.0.

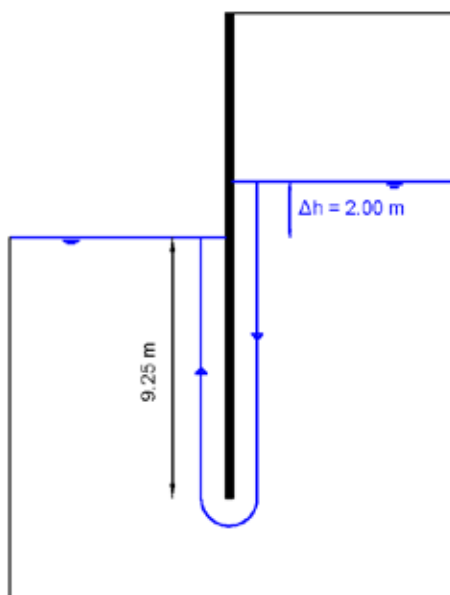
La verifica di sifonamento deve essere eseguita in conformità alle N.T.C.2008, paragrafo 6.2.3.3, mettendo a confronto, in considerazione delle sicurezze parziali dalla tabella 6.2.IV, i valori di calcolo della pressione interstiziale destabilizzante ( $U_{dest,d}$ ) e la tensione completamente stabilizzante ( $\sigma_{stab,d}$ ).

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

**Tabella 6.2.IV** – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sifonamento.

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	SIFONAMENTO (HYD)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9
	Sfavorevole		1,3
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0
	Sfavorevole		1,5

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.



**Figura 13** : Schizzo del sistema idraulico

Per ottenere la relativa prova si deve garantire, in fase esecutiva, che il livello dell'acqua non si trovi a più di 2,0 m sopra la quota di scavo.

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

Verifica di sifonamento (HYD)							
$\gamma'$	[kN/m <sup>3</sup> ]	10.0	Peso spec. suolo effett.	$\gamma_{sat}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	20.0	Peso spec. suolo saturo
$\Delta h$	[m]	2.0	Differenza potenziale	L	[m]	20.5	Lung. moto filtr.
$I_{krit}$	[-]	1.0	Grad. idraul. critic.	$I_{eff}$	[-]	0.098	Gradiente idr.
<b>FS <math>I_{krit}</math></b>	[-]	<b>10.25 <math>\geq</math> 3</b>	<b>Sicurezza nella verifica del gradiente idr. crit.</b>				
<b>Prova totale di tensione al piede della berlinese (9.25m sotto la quota di scavo):</b>							
$\gamma_G$ favorevole	[-]	0.90	Coefficiente di sicurezza parziale carico permanente (favorevole)				
$\gamma_G$ sfavorevole	[-]	1.30	Coefficiente di sicurezza parziale carico permanente (sfavorevole)				
$U_{dest,k}$	[kPa]	101.6	Pressione caratter. destab. acqua interstiziale				
$\sigma_{stab,k}$	[kPa]	185.0	Tensione caratter. completamente stabilizzante				
$U_{dest,d}$	[kPa]	132.0	Valore di calcolo pressione acqua intersti. destab.				
$\sigma_{stab,d}$	[kPa]	166.5	Valore di calcolo per la stabilizzazione delle tensioni totali				
<b>FS <math>_{hyd, GB}</math></b>	[-]	<b>1.26 <math>\geq</math> 1</b>	<b>Sicurezza contro il sifonamento</b>				

Tabella 19 : Sintesi delle verifiche idrauliche

### 7.10 Verifica fase di costruzione

Per la verifica delle fasi di costruzione del muro di micropali verranno inoltre esaminate le fasi esecutive rappresentate in Figura 14 per le seguenti combinazioni (senza sisma):

Calcoli					Fig.
Fase di costruzione 1	Stato limite ultimo (SLU)	SLU-1	A1+M1+R1	Statica A1+M1+R1	Figura 15
		SLU-2	A2+M2+R1	Statica A2+M2+R1	Figura 17
	Stato limite di esercizio (SLE)	SLE	Coeff. unità	Statica	Figura 19
	Stabilità globale (SLU)	SLU-2	A2+M2+R2	Statica A2+M2+R2	Figura 21
Fase di costruzione 2	Stato limite ultimo (SLU)	SLU-1	A1+M1+R1	Statica A1+M1+R1	Figura 16
		SLU-2	A2+M2+R1	Statica A2+M2+R1	Figura 18
	Stato limite di esercizio (SLE)	SLE	Coeff. unità	Statica	Figura 20
	Stabilità globale (SLU)	SLU-2	A2+M2+R2	Statica A2+M2+R2	Figura 22

Tabella 20 : Indagini relative alla fasi di costruzioni del muro di micropali

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

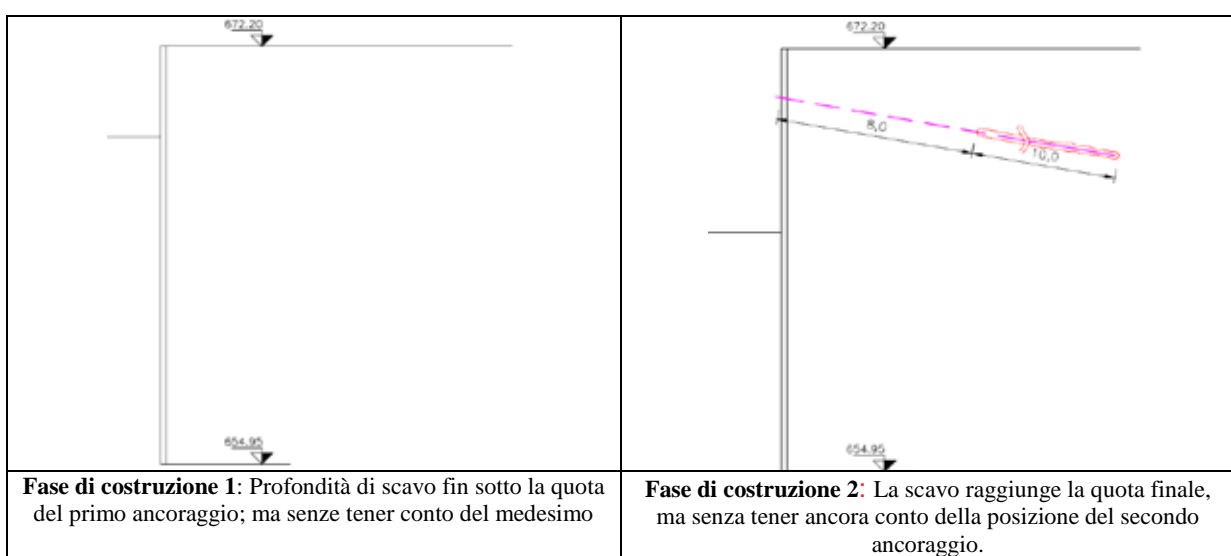


Figura 14 : Indagini relative alla fasi di costruzioni

I seguenti risultati possono essere presentati e riassunti sulla base delle seguenti tabelle e/o immagini.

7.10.1 SLU

Prova di tensione		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
		Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2	Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2
$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	33.81	33.81	33.81	33.81
$\sigma_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	14.63	33.39	14.38	32.11
$\mu$	[-]	<b>0.43</b>	<b>0.99</b>	<b>0.43</b>	<b>0.95</b>

Tabella 21 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLU

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_r / \sigma_d$

7.10.2 SLE

Verifica SLE		Fase di costruzione	
		1	2
Prova di tensione	$\sigma_r$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	28.4	28.4
	$\sigma_d$ [kN/cm <sup>2</sup> ]	10.58	23.49
	$\mu$ [-]	<b>0.37</b>	<b>0.83</b>
Spostamento orizzontale	$W_{max}$ [mm]	~ 6	~ 6

Tabella 22 : Prova di piegamento sul tubo d'acciaio SLE

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$



### 7.10.3 Prova berlinese – Verifiche strutturale sul tirante - Prova sui trefoli SLU

Posiz. ancoraggi	Prova forza ancoraggi		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
			Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2	Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2
sopra	$n_{Litzen}^{(1)}$	[-]	x	2	x	2
	A,Rd	[kN]		416.8		416.8
	A,Ed	[kN]		349.3		326.5
	$\mu$	[-]		<b>0.83</b>		<b>0.78</b>

<sup>(1)</sup> 2 Trefoli acciaio Y1860 ( $f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$  bzw.  $f_{pyk} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$ );  $A=140 \text{ mm}^2$ ;  $\varnothing=15,3 \text{ mm}$ .

Tabella 23 : Prova sui trefoli d'acciaio SLU

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

### 7.10.4 Prova ancoraggi

Posiz. ancoraggio	Prova connessione corpo di iniezione-suolo		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
			Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2	Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2
sopra	$\mu$	[-]	x	<b>0.59</b>	x	<b>0.55</b>

Tabella 24 : Prova sugli ancoraggi SLU

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

7.10.5 SLU - Berlinese - Verifiche sulle travi di ancoraggio

Posizione ancoraggio	Prova tensioni		A1+M1+R1		A2+M2+R1	
			Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2	Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2
sopra	$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	x	33.81	x	33.81
	$\sigma_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		11.0		7,5
	$\mu$	[-]		<b>0.33</b>		<b>0.22</b>
	$\tau_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		19.52		19.52
	$\tau_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		7.6		6.0
	$\mu$	[-]		<b>0.39</b>		<b>0.31</b>
	$\sigma_{v,r}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		33.81		33.81
	$\sigma_{v,d}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		17.2		12.8
	$\mu$	[-]		<b>0.51</b>		<b>0.38</b>

Tabella 25 : Verifica di piegamento e spinta sulle travi di ancoraggio SLU

$\sigma_r$  = resistenza

$\sigma_d$  = azione

$\mu = \sigma_d / \sigma_r$

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

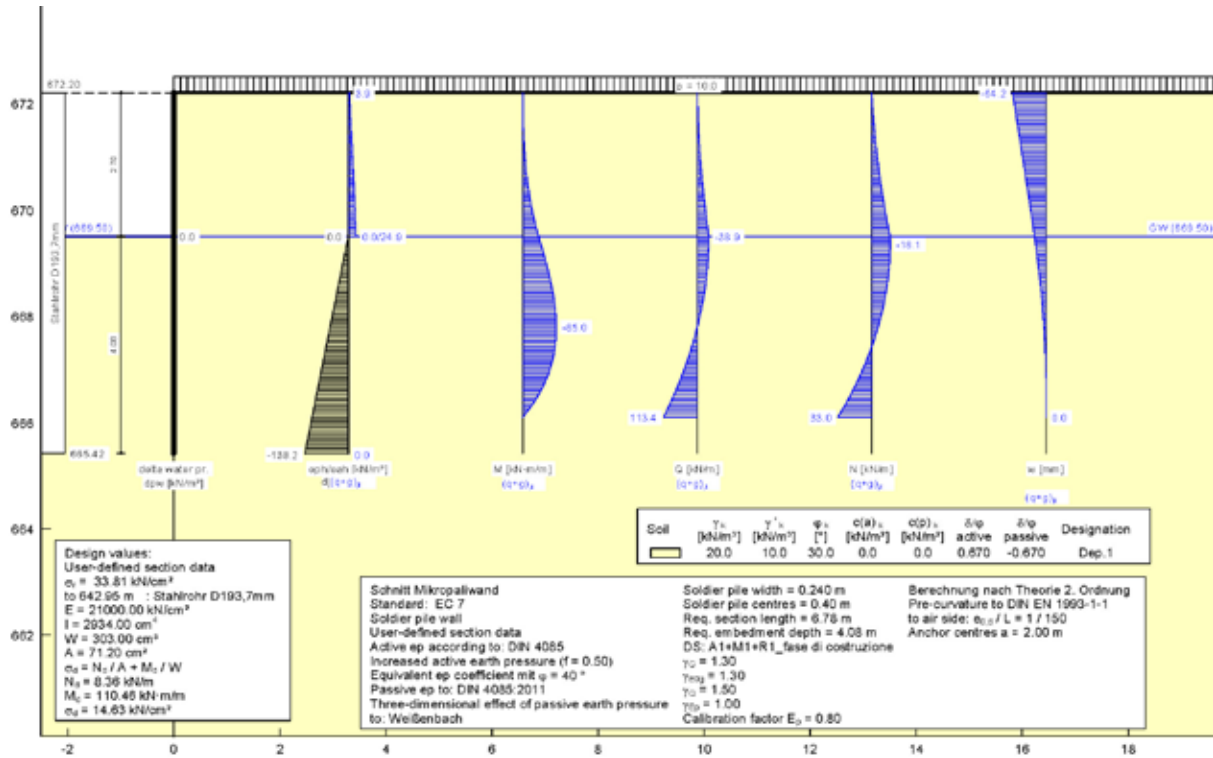


Figura 15 : Fase di costruzione 1 SLU – combinazione A1+M1+R1

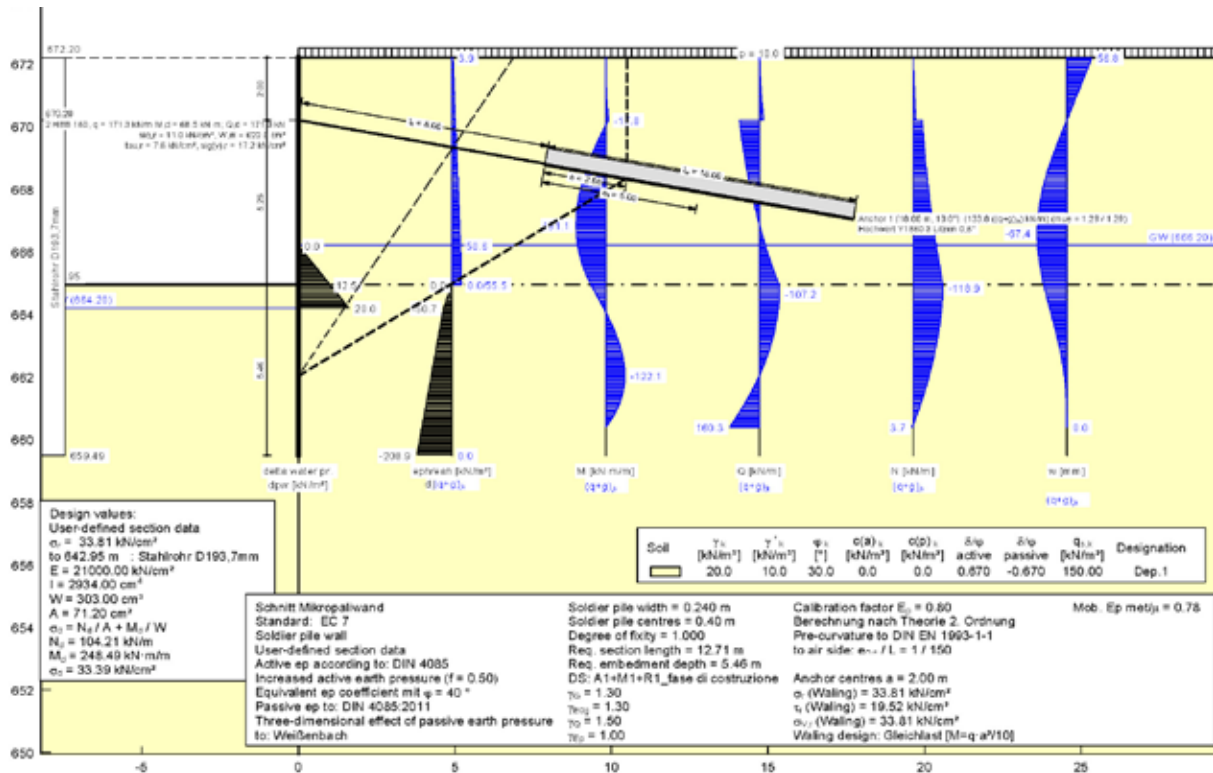


Figura 16 : Fase di costruzione 2 SLU – combinazione A1+M1+R1

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

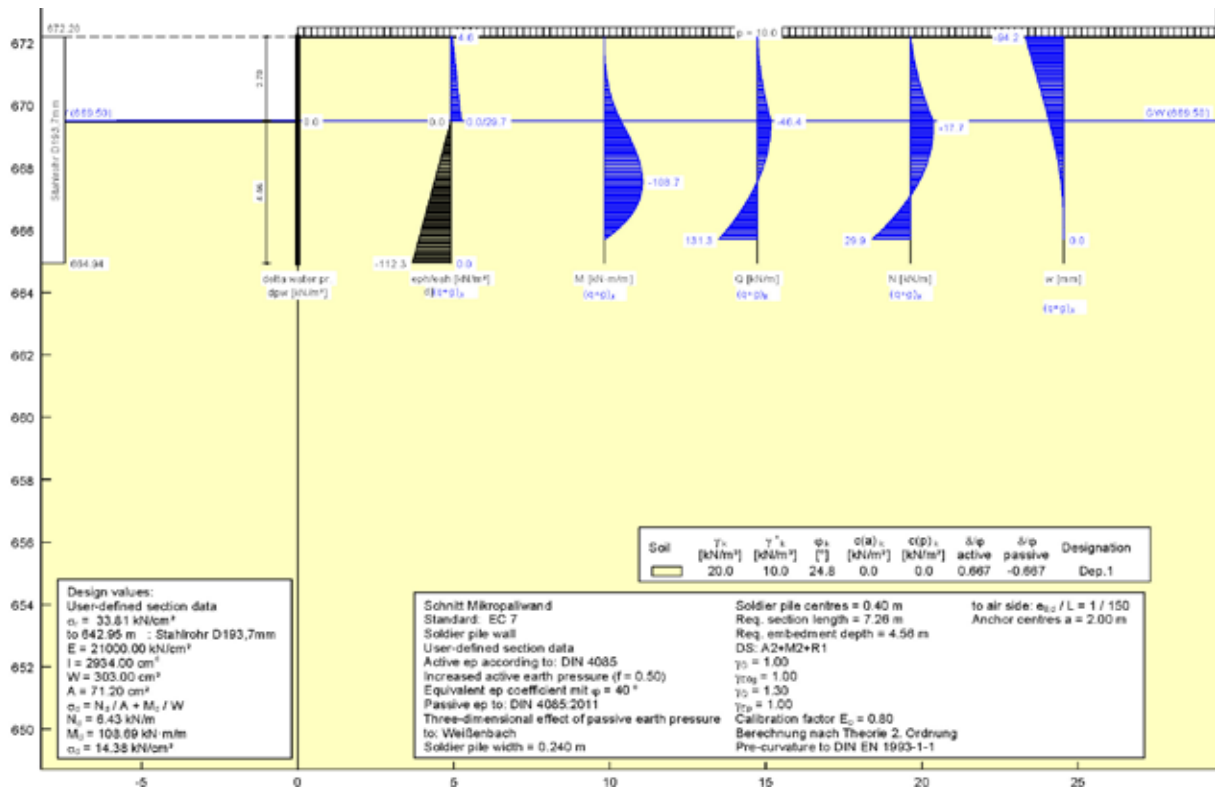


Figura 17 : Fase di costruzione 1 SLU – combinazione A2+M2+R1

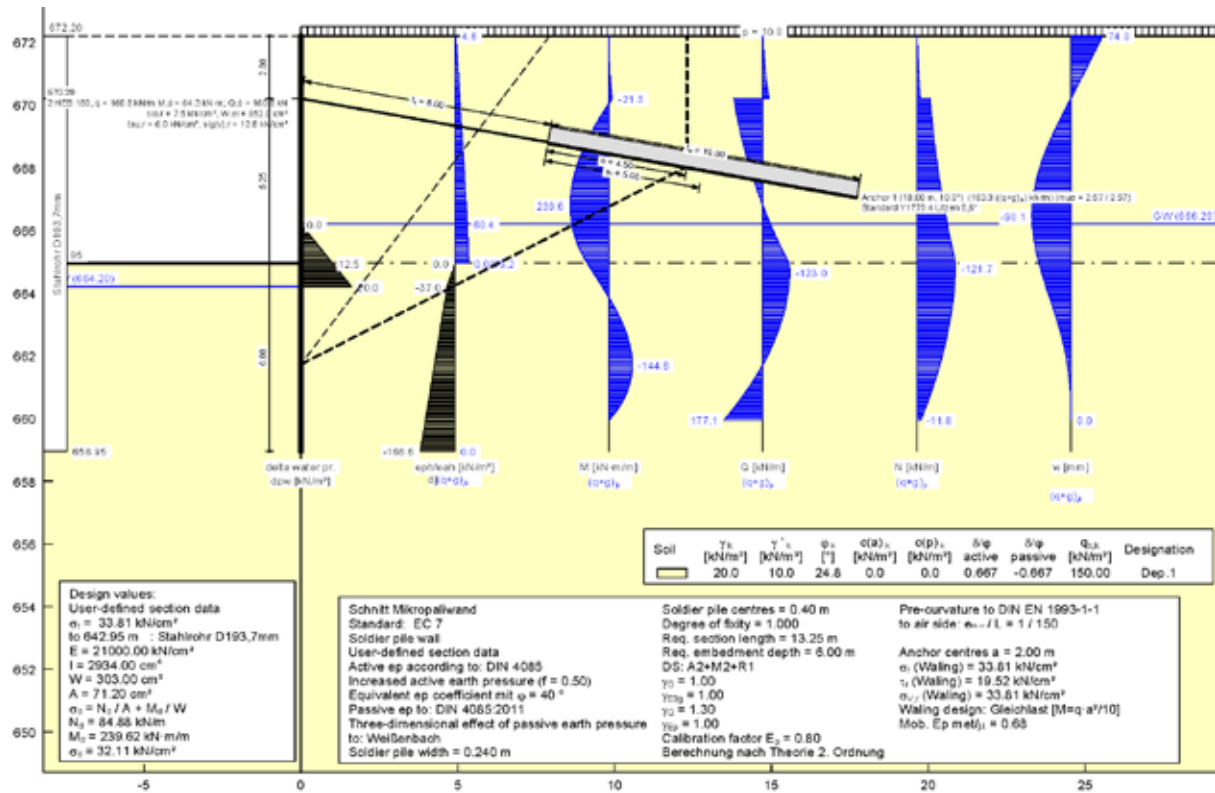


Figura 18 : Fase di costruzione 2 SLU – combinazione A2+M2+R1

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

7.10.6 SLE

Verifica delle tensioni		Fase di costruzione 1	Fase di costruzione 2
Posiz. ancor.		sopra	
$\sigma_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]	x	28.4
$\sigma_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		22.0
$\mu$	[-]		<b>0.77</b>
$\tau_r$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		16.4
$\tau_d$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		6.3
$\mu$	[-]		<b>0.38</b>
$\sigma_{v,r}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		28.4
$\sigma_{v,d}$	[kN/cm <sup>2</sup> ]		24.5
$\mu$	[-]		<b>0.86</b>

Tabella 26 : Prova di piegamento e spinta sulle travi di ancoraggio SLE

$\sigma_r$  = resistenza  
 $\sigma_d$  = azione  
 $\mu = \sigma_d / \sigma_r$

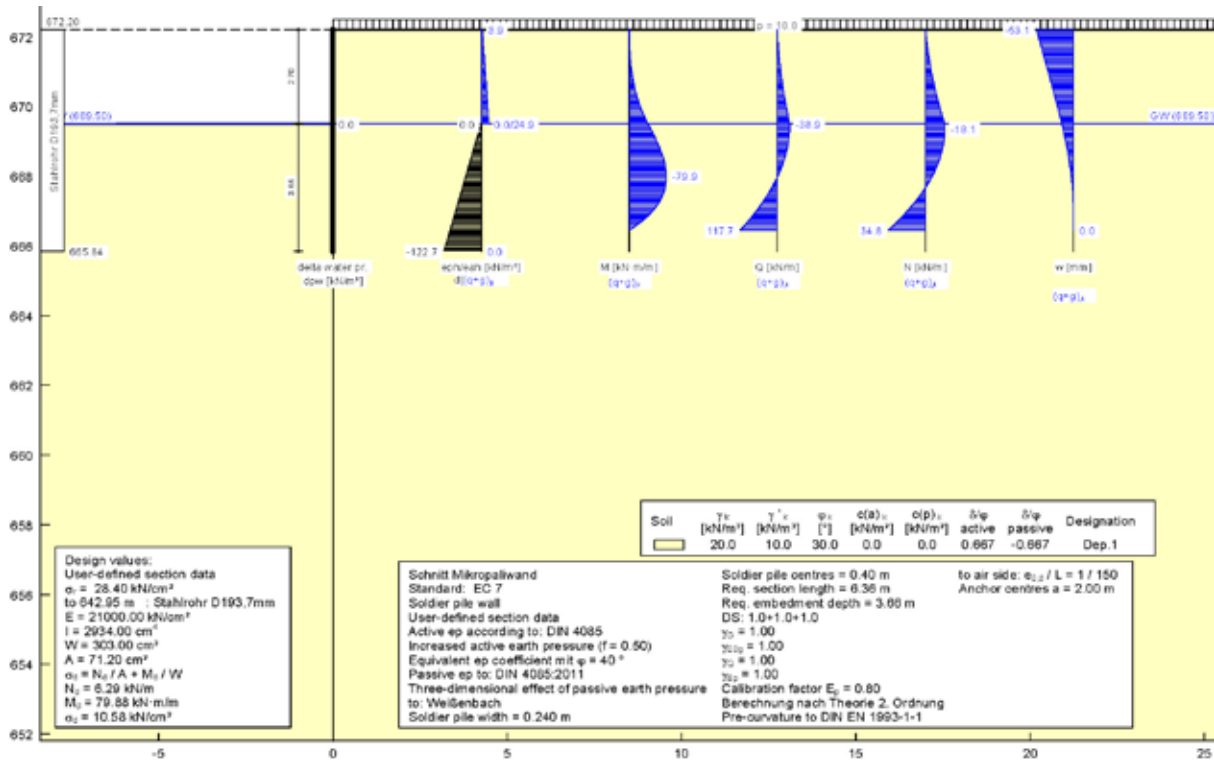


Figura 19 : Fase di costruzione 1 SLE

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

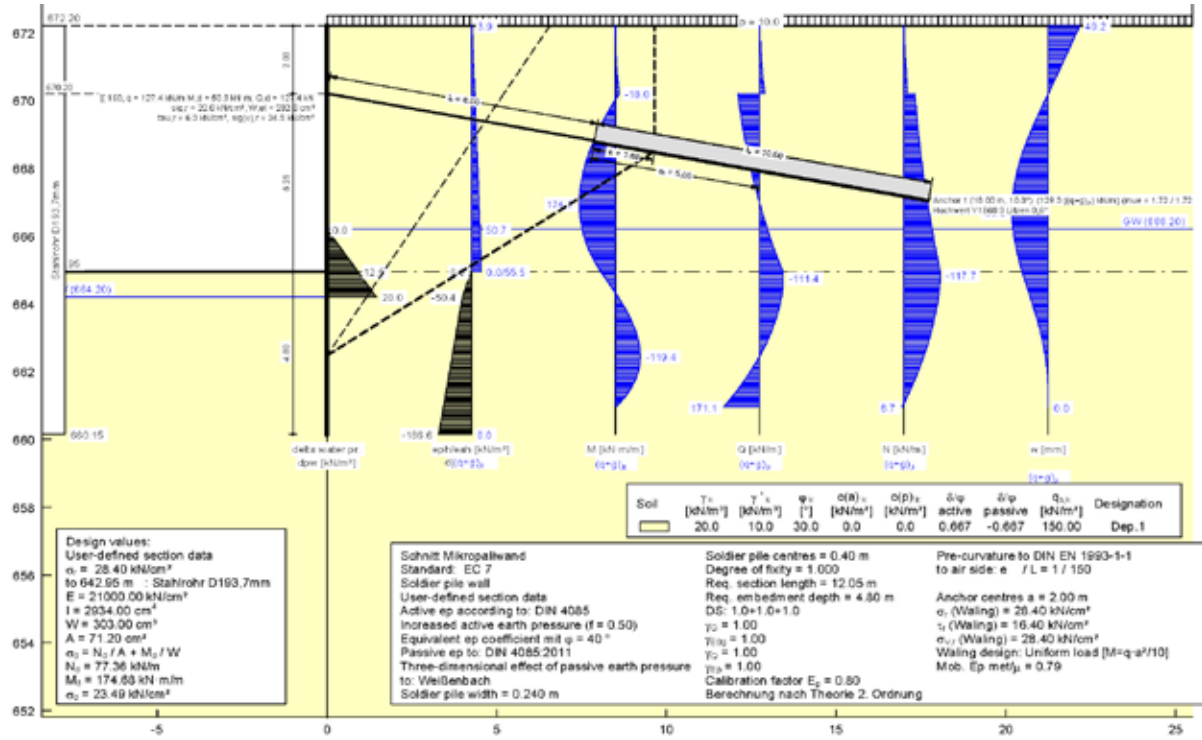


Figura 20 : Fase di costruzione 2 SLE

7.10.7 Prova stabilità globale

Verifiche	A2+M2+R2	
	Fase di costruzione 1 ( )	Fase di costruzione 2 ( )
Stabilità globale	$m = 0,38 * 1,1 (R2) = 0,42 \leq 1,0$ Prova soddisfatta	$m = 0,59 * 1,1 (R2) = 0,65 \leq 1,0$ Prova soddisfatta

Tabella 27 : Stabilità globale berlinese

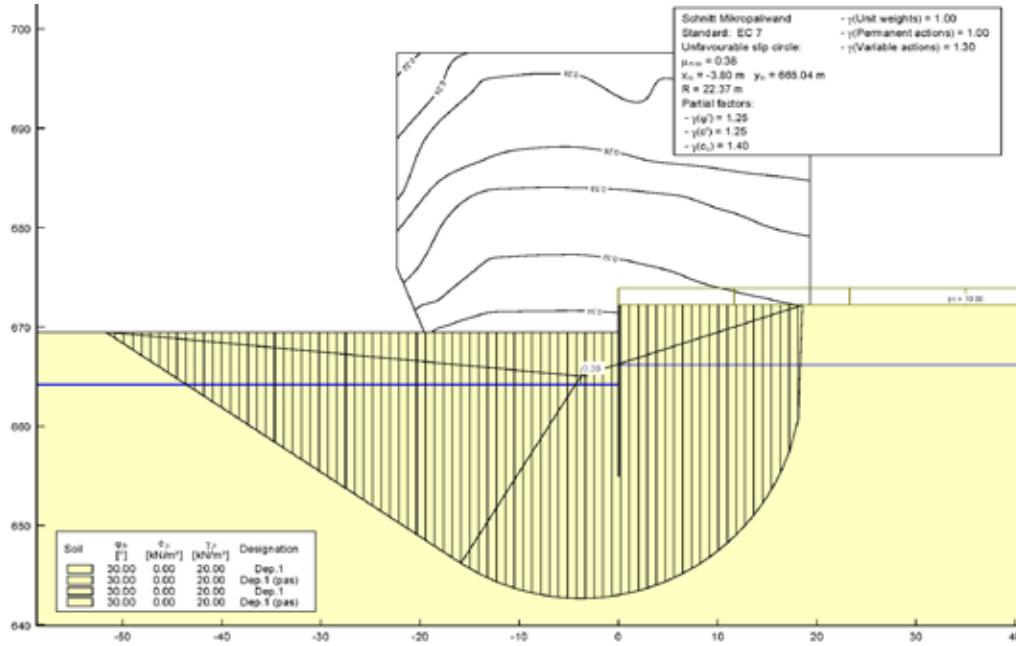


Figura 21 : Fase di costruzione 1 combinazione A2+M2+R2

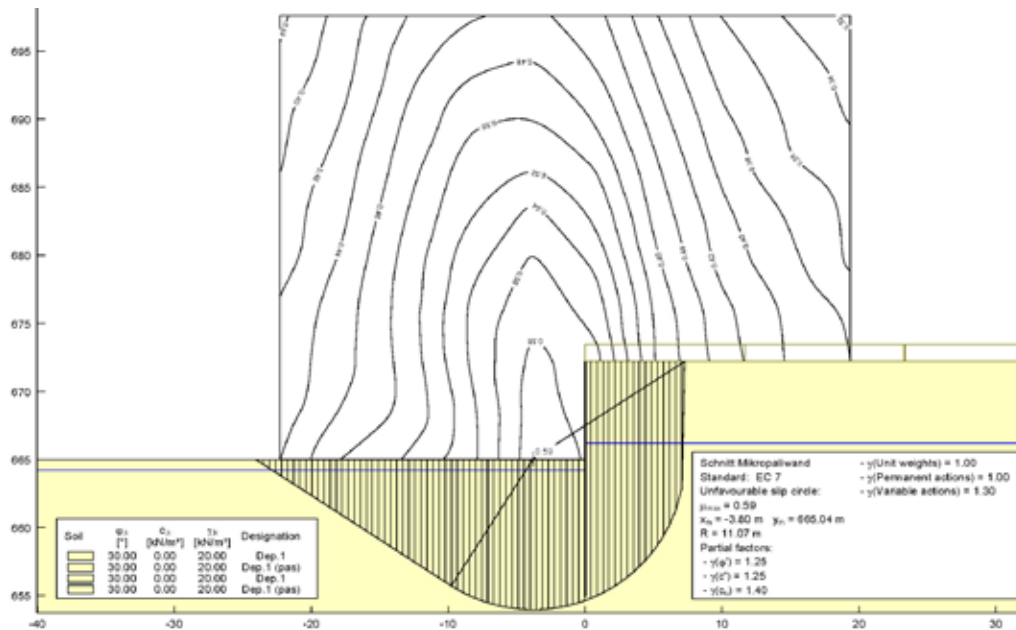


Figura 22 : Fase di costruzione 2 combinazione A2+M2+R2+sisma

### 7.11 Sintesi berlinese - nuova

I calcoli di cui al capitolo 7 hanno dimostrato che la berlinese nell'area sud-ovest del futuro portale di galleria è fattibile e realizzabile. E' stato possibile ottenere tutte le verifiche per la sezione rappresentativa scelta per il calcolo. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici n. PRV\_C3A\_7582, \_7585, \_7586 e \_7587.

### 7.12 Berlinese – esistente

#### Portale di galleria

Si prevedono le seguenti misure per la protezione della berlinese esistente durante l'avvio:

- Si prevede un livello di tiranti aggiuntivo a sinistra della galleria
- L'avanzamento avviene a sezioni parziali. Il consolidamento del fronte di scavo garantisce l'assenza di carichi orizzontali aggiuntivi sulla berlinese esistente a seguito di spinta delle terre.
- Anche la sezione parziale inferiore viene consolidata per la larghezza che va dalla parete chiodata alla berlinese mediante calcestruzzo proiettato e chiodi., vedere [17].
- La percentuale di carichi verticali della berlinese viene assorbita mediante ombrello di infilaggi
- E' presente una dima di attacco in cls armato di spessore minimo 60 cm, che si realizza prima dello scavo dello strozzo, che congloba gli infilaggi e che funge da rinforzo supplementare.

Per ulteriori dettagli sulla situazione di avvio e del consolidamento del fronte di scavo si veda la relazione PRV\_C3A\_7541 „Relazione tecnica e di calcolo dei sostegni“.

Per la zona di transizione tra parete chiodata e berlinese esistente, in corrispondenza della dima di attacco di Maddalena 2, si veda l'elaborato PRV\_C3A\_7531\_26-48-35.

#### Prolungamento berlinese

A seguito dell'ampliamento della fondazione la berlinese deve essere allungata all'estremità nord-est. Viene impiegata la configurazione esistente della berlinese (diametro e distanza dei micropali e posizione degli ancoraggi). Essendo in presenza delle stesse condizioni al contorno (altezza, carico) della berlinese esistente non è necessaria alcuna verifica specifica, poichè resta valida la statica della berlinese esistente (si veda il capitolo 7.10).



## 8. calcolo parete chiodata

### 8.1 Sezione e parametri di calcolo

La parete chiodata in calcestruzzo proiettato viene esaminata con il software GGU Stability, mediante il quale è possibile eseguire direttamente tutte le verifiche rilevanti. Si prende in esame un tratto rappresentativo della parete chiodata. La berlinese esistente, che si trova sul retro, sarà considerata per sicurezza non come elemento stabilizzante ma come carico.

Calcolo	Altezza fondazione [m]	Serie ancoraggi [-]
2	7,8 <sup>(1)</sup>	5
<sup>(1)</sup> ... per sicurezza nel calcolo l'altezza di scavo di progetto (bordo inferiore fondazione) sarà ridotta da 664,7 a 664,2 (cioè più bassa di 0,5 m).		

Tabella 28 : Parete chiodata – Area di calcolo

La seguente tabella contiene i parametri geotecnici alla base del calcolo (per sicurezza è stato considerato solo lo strato Dep. 1). Per ulteriori dettagli si rimanda ai plot di calcolo.

Combinazione	A1+M1+R1			A2+M2+R1		
	g [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	f' [°]	g [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	f' [°]
Strato Dep. 1	20	0	30	20	0	24.8

Tabella 29 : Parametri di calcolo geotecnici

### 8.2 Carichi

#### 8.2.1 Spinta delle terre

La spinta delle terre viene calcolata all'interno del programma (50% di spinta attiva aumentata e 50% spinta a riposo). Per ulteriori dettagli si rimanda ai plot di calcolo.

#### 8.2.2 Carico variabile

Al di sopra della parete chiodata e al di sopra della berlinese si applica un carico, per sicurezza variabile, di 10 kN/m<sup>2</sup>, per tenere conto dei possibili carichi di accumulo e di trasporto.

#### 8.2.3 Carico sismico

Per la parete chiodata il carico sismico si definisce secondo il metodo per le opere di sostegno e i piendii, come ai paragrafi 7.11.3.5 e 7.11.6.2 delle N.T.C.2008. Ne risulta come coefficiente orizzontale di accelerazione:

$$k_h = a_g * S_s * S_t * b_s.$$

I parametri  $a_g$ ,  $S_s$  e  $S_t$  equivalgono alle dimensioni già calcolate per la parete a micropali (si veda il paragrafo 7.2.3). Solo  $b_s$  risulta in dipendenza della categoria del suolo e dell'accelerazione  $a_g$  dalla tabella 7.11.II – N.T.C.2008. Il coefficiente orizzontale di accelerazione si applica come segue:

$$k_v = 0,5 * k_h$$

Stato limite	Categoria suolo	Fattore $S_s$	Fattore $S_T$	Fattore $b_s$	Coefficiente $K_h$	Coefficiente $K_v$
SLD	C	1.5	1.2	0.18	0.024	0.012
SLV	C	1.45	1.2	0.24	0.069	0.035

Tabella 30 : Parametri del carico sismico sulla parete chiodata

### 8.2.4 Pressione dell'acqua

Poichè sulla parete chiodata sono previsti interventi drenanti e fori di scarico nel modello di calcolo non si applica un carico idraulico.

### 8.3 Fasi di costruzione

Le relative fasi di costruzione sono già descritte nel paragrafo 7.3 e si trovano nell'elaborato grafico n. PRV\_C3A\_7584.

### 8.4 Panoramica dei calcoli eseguiti

La seguente tabella contiene i calcoli eseguiti per la parete chiodata:

Calcoli		Descrizione		Fig.
Stato limite ultimo (SLU)	SLU-1	A1+M1+R1	Statica A1+M1+R1	Figura 23
	SLU-2	A2+M2+R1	Statica A2+M2+R1	Figura 25
	SLU-1 SEI (SLV)	A1+M1+sisma SLV	Sismica A1+M1+R1	Figura 24
	SLU-2 SEI (SLV)	A2+M2+ sisma SLV	Sismica A2+M2+R1	Figure 26
Stabilità globale (SLU)	SLU-2	A2+M2+R2	Statica A2+M2+R2	Figure 27
	SLU-2 SEI (SLV)	A2+M2+ sisma SLV	Sismica A2+M2+R2	Figure 28

Tabella 31 : Panoramica calcoli eseguiti su parete chiodata

### 8.5 Verifica parete chiodata

La seguente tabella mostra gli esiti delle verifiche per ogni calcolo:

Verifiche	A1+M1+R1		A2+M2+R1	
	Statica	Sismica	Statica	Sismica
Stabilità parete chiodata	$m = 0,66 < 1,0$	$m = 0,73 < 1,0$	$m = 0,77 < 1,0$	$m = 0,89 < 1,0$
Verifica tiranti per suolo	soddisfatta	soddisfatta	soddisfatta	soddisfatta
Ribaltamento, scivolamento, sifonamento	soddisfatta	soddisfatta	soddisfatta	soddisfatta
Verifiche di punzonamento	soddisfatta	soddisfatta	soddisfatta	soddisfatta

Tabella 32 : Prova parete chiodata SLU

La verifica è soddisfatta per  $\mu \leq 1$

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

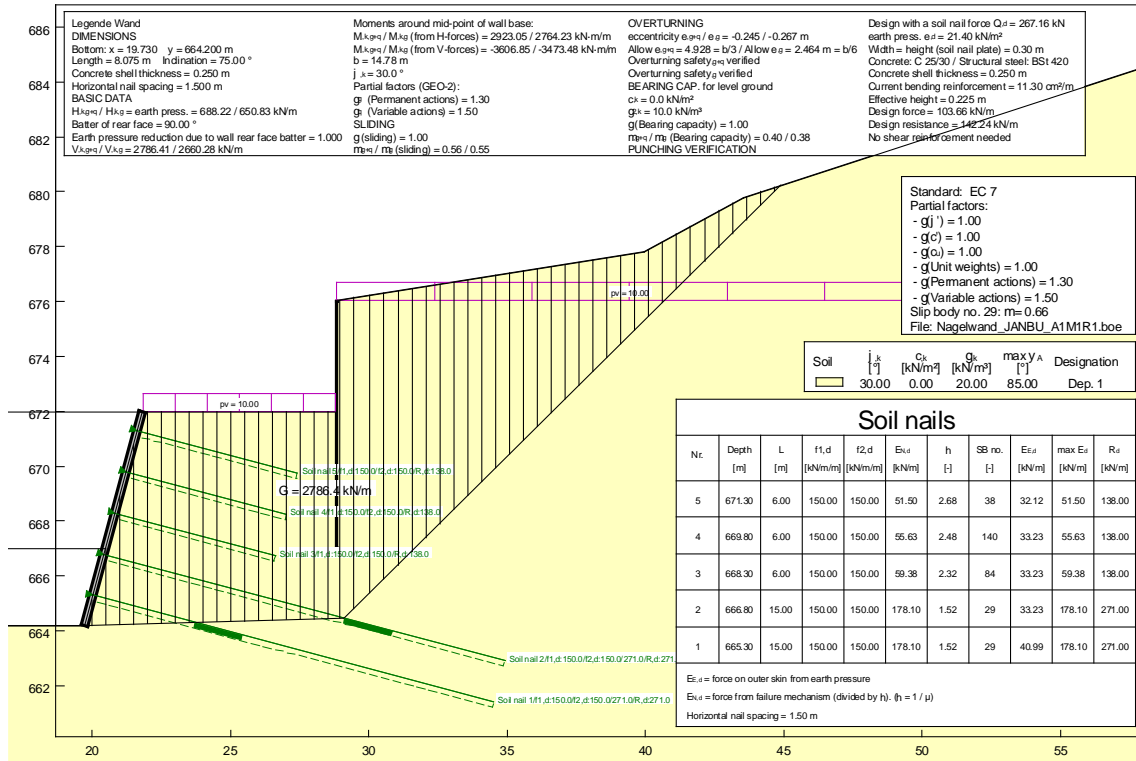


Figura 23 : Calcolo parete chiodata SLU – Combinazione A1+M1+R1

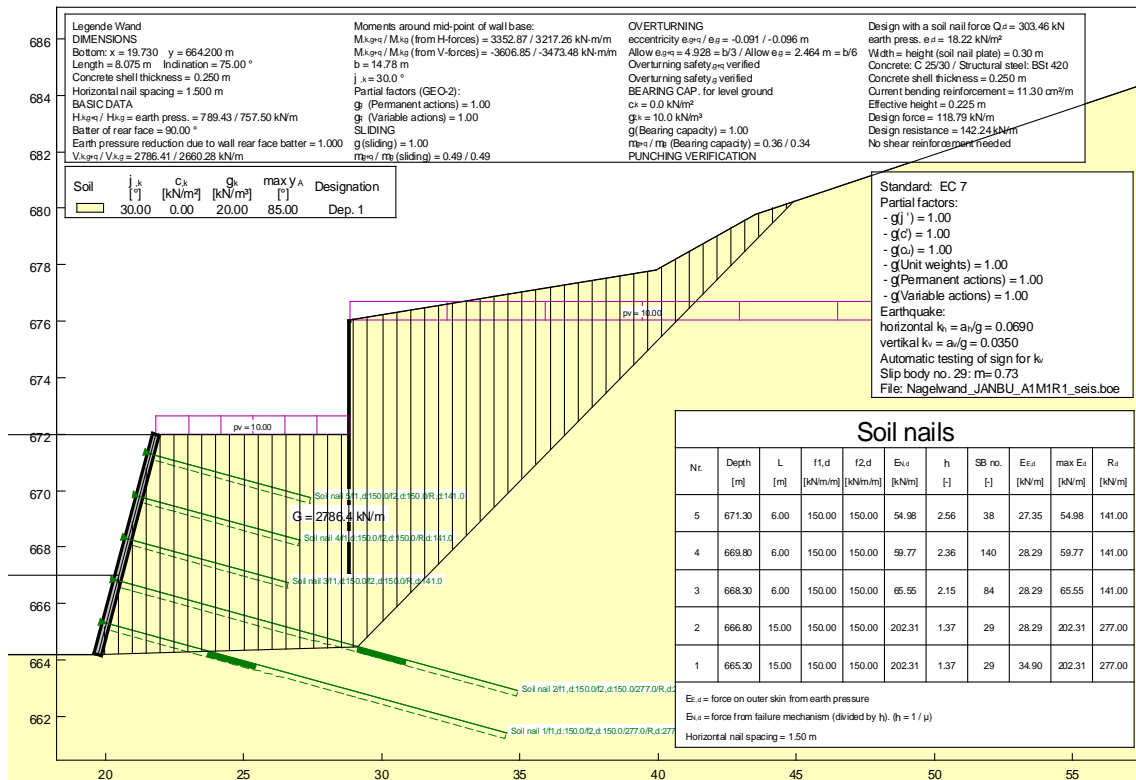


Figura 24 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A1+M1+R1+sisma

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

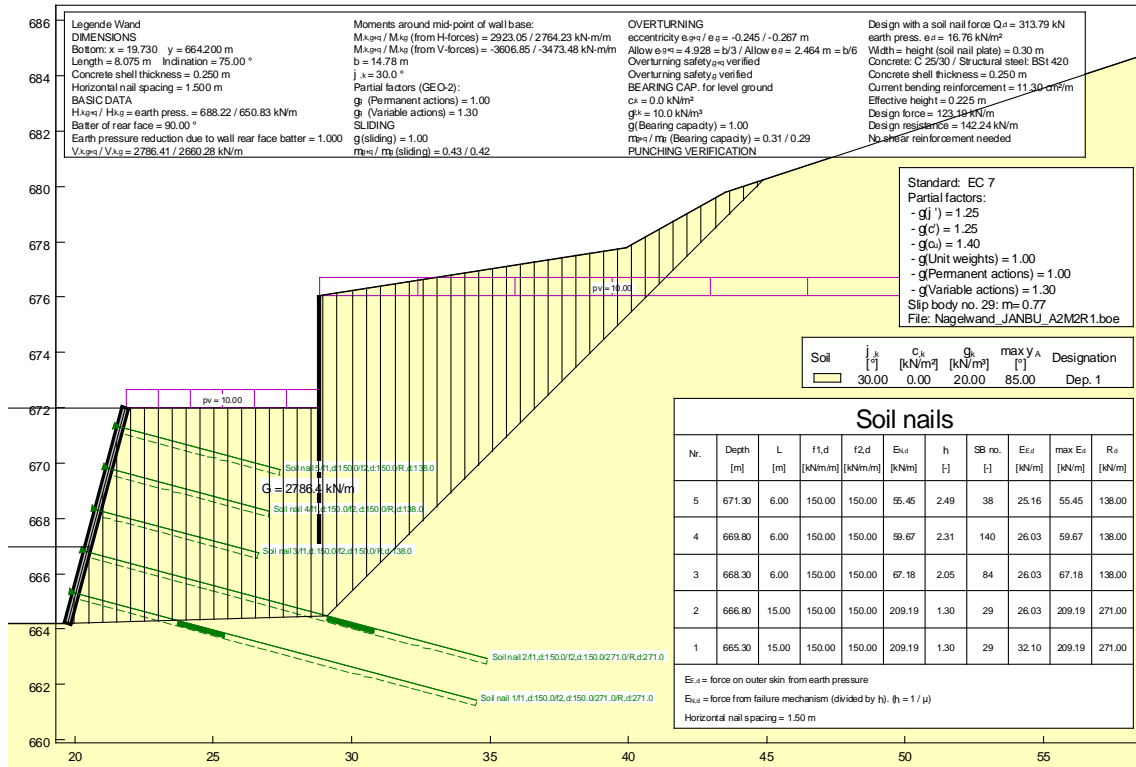


Figura 25 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R1

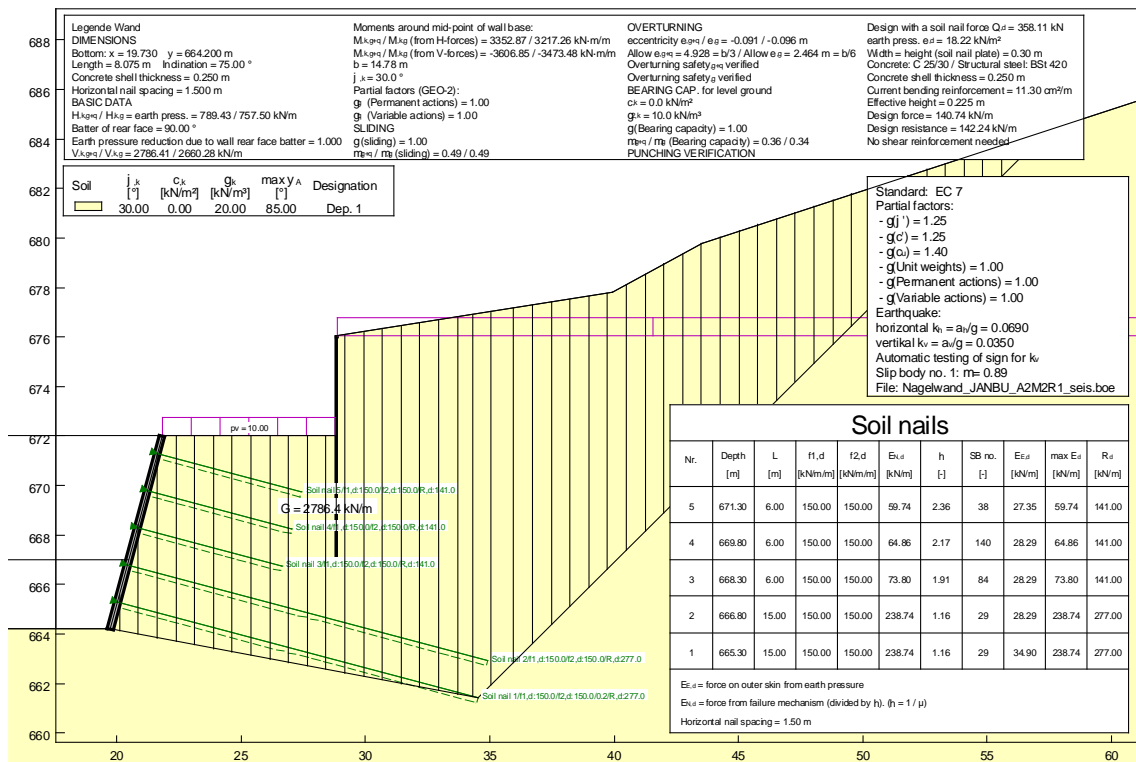


Figure 26 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R1+sisma

### 8.6 Prova di stabilità globale

La verifica di stabilità globale si esegue secondo il metodo di analisi della stabilità del pendio di con il software GGU Stability. I carichi sismici vengono considerati secondo il principio pseudo-statico di cui al paragrafo 7.2.3. I calcoli vengono eseguiti per la combinazione A2+M2+R2. La seguente tabella mostra i risultati:

Verifica	A2+M2+R2	
	Statica	Sismica
Stabilità globale	$m = 0,72 * 1,1 (R2) = 0,79 \leq 1,0$ Verifica soddisfatta	$m = 0,85 * 1,1 (R2) = 0,94 \leq 1,0$ Verifica soddisfatta

Tabella 33 : Stabilità globale parete chiodata

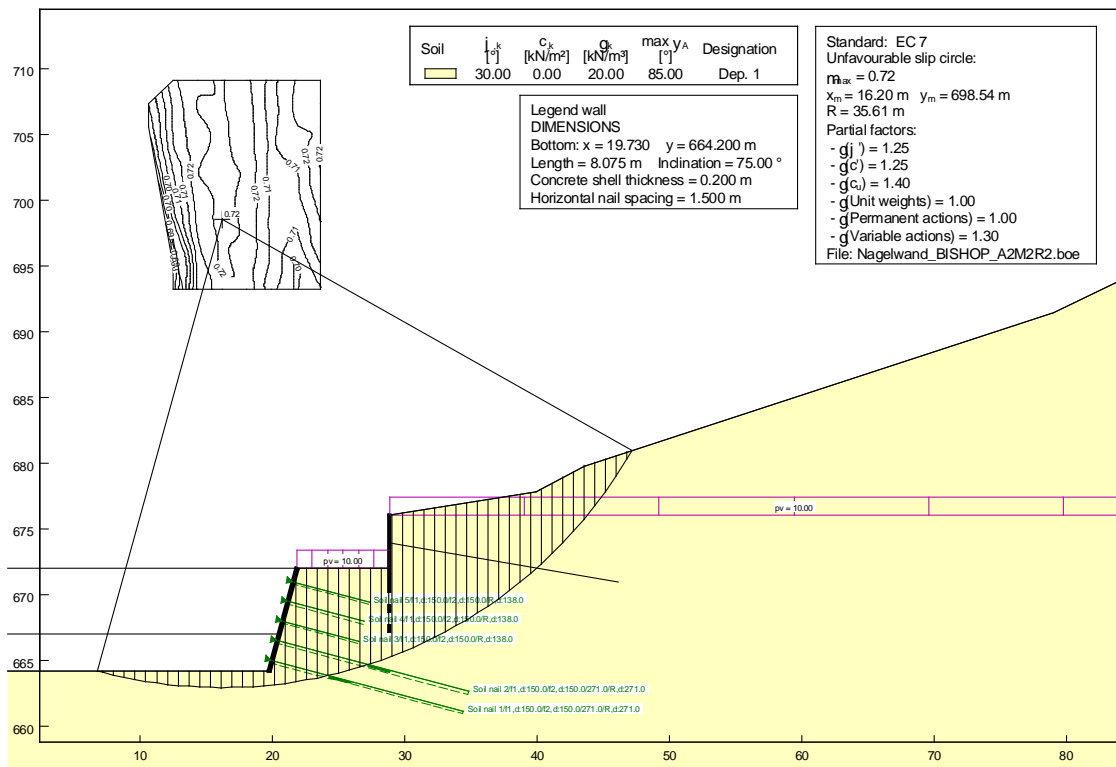


Figura 27 : Calcolo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R2

Note de calcul et stabilité / Relazione di calcolo e di stabilità

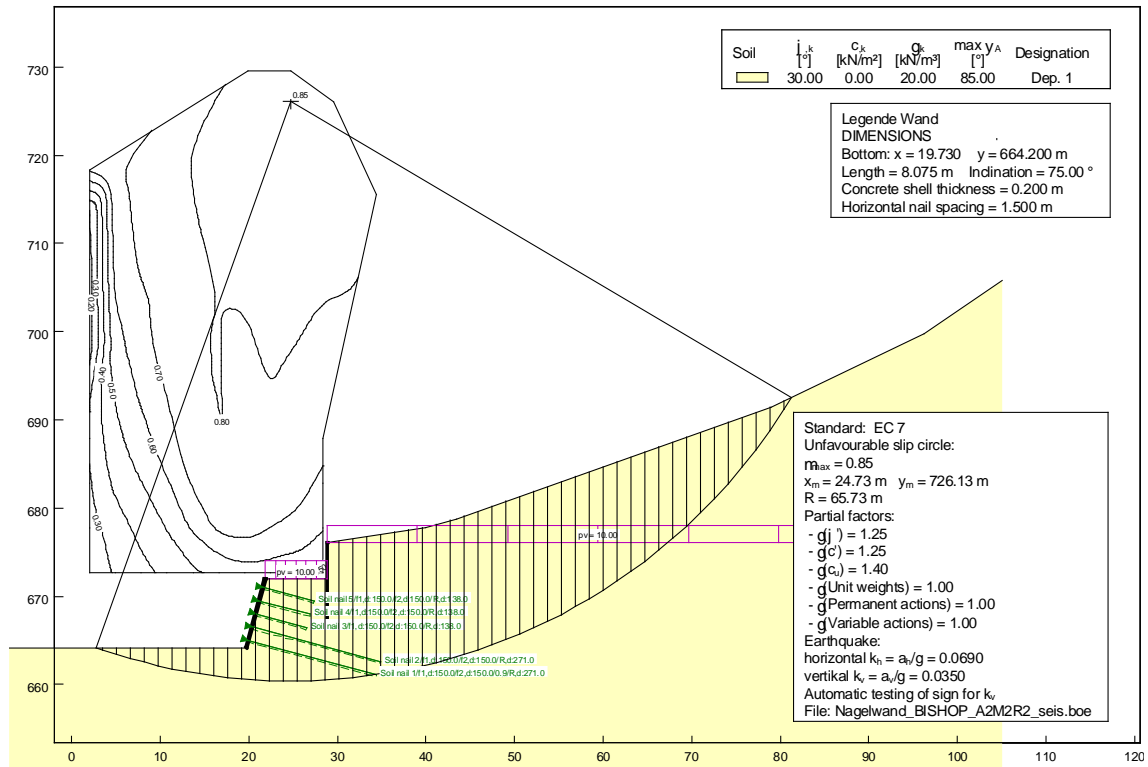


Figure 28 : Calculo parete chiodata: SLU – Combinazione A2+M2+R2+sisma

### 8.7 Sintesi parete chiodata

I calcoli di cui al capitolo 8 dimostrano che la parete chiodata nell'area nord-est del futuro portale di galleria è fattibile e realizzabile. È stato possibile portare tutte le Verifiche richieste per l'area di calcolo rappresentativa. Per ulteriori dettagli si rimanda ai documenti progettuali Nr. PRV\_C3A\_7582, \_7583, \_7584 e \_7587.

Per la zona di transizione tra parete chiodata e berlinese esistente, in corrispondenza della dima di attacco di Maddalena 2, si veda l'elaborato PRV\_C3A\_7531\_26-48-35.

## 9. interventi di monitoraggio

Questi sono rappresentati in dettaglio nell'elaborato grafico n. PRV\_C3A\_7587 e nella relazione descrittiva n. PRV\_C3A\_7580