

S.F.T.R.F. S.A.
Société Française du Tunnel du Fréjus
S.I.T.A.F. S.p.A.
Società Italiana Traforo Autostradale Fréjus

TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS
GALLERIA DI SICUREZZA
TUNNEL ROUTIER DU FREJUS
GALERIE DE SECURITE

Progetto Definitivo 2006

Projet 2006

Relazione dimensionamento parti esterne I-F

Rapport de dimensionnement ouvrages annexes I-F

 **LOMBARDI SA**
INGEGNERI CONSULENTI



INDICE

	pagina
1. INTRODUZIONE	1
2. DOCUMENTAZIONE DI BASE	1
3. OPERE LATO ITALIA	2
3.1 Scarpata d'accesso all'imbocco lato Italia	4
3.1.1 Modello della scarpata	5
3.1.2 Caratteristiche fisico-meccaniche della morena di versante	6
3.1.3 Caratteristiche fisico-meccaniche del materiale di risulta	6
3.1.4 Dimensionamento delle chiodature	7
3.2 Muro di sostegno lato Italia	9
3.3 Struttura artificiale lato Italia	10
4. OPERE LATO FRANCIA	12
4.1 Scarpata d'accesso all'imbocco lato Francia	13
4.2 Parete chiodata e rilevato in terra rinforzata lato Francia	14
Allegato/Annexe 1 -	Dimensionamento parete chiodata imbocco lato Italia Dimensionnement paroi cloué tête italienne
Allegato/Annexe 2 -	Dimensionamento muro di sostegno imbocco lato Italia Dimensionnement mur de soutènement tête italienne
Allegato/Annexe 3 -	Dimensionamento galleria artificiale lato Italia Dimensionnement tranchée couverte tête italienne
Allegato/Annexe 4 -	Dimensionamento parete chiodata imbocco lato Francia Dimensionnement paroi cloué tête française
Allegato/Annexe 5 -	Analisi di stabilità scarpata lato Francia Analyses de stabilité talus tête française
Allegato/Annexe 6 -	Dimension. parete chiodata pista cantiere lato Francia Dimension. paroi cloué piste de chantier tête française
Allegato/Annexe 7 -	Dimensionamento rilevato in terra rinforzata lato Francia Dimensionnement remblai terre renforcée tête française

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	17
2. DOCUMENTATION CONSULTEE	17
3. OUVRAGES COTE ITALIE	18
3.1 Tranchée d'accès à l'entrée côté Italie	20
3.1.1 Modèle du talus	21
3.1.2 Propriétés physique-mécaniques de la moraine de versant	22
3.1.3 Propriétés physique-mécaniques du déblai	22
3.1.4 Dimensionnement des clouages	23
3.2 Mur de soutien côté Italie	25
3.3 Tranchée couverte côté Italie	26
4. OUVRAGES COTE FRANCE	28
4.1 Tranchée d'accès à l'entrée côté France	29
4.2 Paroi cloué et remblai en terre renforcée côté France	30
Allegato/Annexe 1 -	Dimensionamento parete chiodata imbocco lato Italia Dimensionnement paroi cloué tête italienne
Allegato/Annexe 2 -	Dimensionamento muro di sostegno imbocco lato Italia Dimensionnement mur de soutènement tête italienne
Allegato/Annexe 3 -	Dimensionamento galleria artificiale lato Italia Dimensionnement tranchée couverte tête italienne
Allegato/Annexe 4 -	Dimensionamento parete chiodata imbocco lato Francia Dimensionnement paroi cloué tête française
Allegato/Annexe 5 -	Analisi di stabilità scarpata lato Francia Analyses de stabilité talus tête française
Allegato/Annexe 6 -	Dimension. parete chiodata pista cantiere lato Francia Dimension. paroi cloué piste de chantier tête française
Allegato/Annexe 7 -	Dimensionamento rilevato in terra rinforzata lato Francia Dimensionnement remblai terre renforcée tête française

1. INTRODUZIONE

Il Traforo autostradale del Fréjus collega il Piemonte (Bardonecchia, Italia) con la Savoia (Modane, Francia), sull'asse Torino-Lione. Esso é caratterizzato da circolazione bi-direzionale su una larghezza carrabile di 9 metri e una lunghezza di 12'867.814 metri.

Allo scopo di incrementare ulteriormente la sicurezza del Traforo, sarà realizzata una galleria di sicurezza parallela ad una distanza di ca. 50 m dal traforo autostradale attuale. Verranno realizzati complessivamente 34 rifugi, in media uno ogni 380 m, nei collegamenti trasversali tra il Traforo e la Galleria di Sicurezza.

Nella presente relazione sono proposti i dimensionamenti delle opere esterne necessarie alla sistemazione finale degli imbocchi lato Francia ed Italia, ed in particolare:

- Scarpata d'accesso all'imbocco lato Italia
- Muro di sostegno definitivo lato Italia
- Scarpata d'accesso all'imbocco lato Francia
- Rilevato in terra rinforzata lato Francia

2. DOCUMENTAZIONE DI BASE

- [1.] Beaumont; "Sur les roches qu'on a rencontrées dans le creusement du tunnel des alpes occidentales entre Modane et Bardonnèche" 1871
- [2.] L. Peretti; "Geognosia schematica della regione alpina interessata dal Traforo Autostradale del Fréjus e suoi risvolti geoapplicativi", Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina anno XIV, num. 1, Marzo 1977.
- [3.] R. Amat-Chantoux; "Note et Compte rendu de visites au Tunnel autoroutier di Frejus Modane Savoie", 1978
- [4.] MUSI.NET; Progetto preliminare galleria di sicurezza; Relazione geotecnica geomeccanica del tracciato della galleria di sicurezza, gs96RT19
- [5.] Sondages carottés exécutés dans le tunnel ferroviaire 1.12.66; Etude des caractéristiques des échantillons en provenance du Tunnel du Frejus, 3.6.67
- [6.] Soc. de recherches géophysiques; "étude géotechnique du tunnel et la galerie de reconnaissance" Mai 1975

- [7.] Simecsol; "Rapport sur les essais de laboratoire d'échantillons en provenance du Tunnel du Fréjus" 21.05.75
- [8.] Politecnico di Torino "Tunnel del Frejus Misure di meccanica delle rocce e di geofisica effettuate nella galleria di riconoscimento lato I", 05.08.1966
- [9.] COGEFAR - Rapporto sugli studi effettuati nei primi 2000 m di avanzamento 03.1977
- [10.] MUSI.NET Progetto preliminare galleria di sicurezza "Indagini geotecniche in situ", gs96RT20
- [11.] Sulem, J; "Comportement Différé des Galeries Profondes" Thèse pour l'obtention du titre de Docteur de Recherche, ENPC 29.11.1983.
- [12.] Lombardi SA "Dossier d'avan-projet détaillé de la galerie de sécurité" 12.7.04
- [13.] Consorzio Traforo del Fréjus; "Risultati relativi alla campagna geognostica condotta nel materiale morenico in zona di imbocco lato Italia", 02.08.1975
- [14.] Politecnico di Torino, Istituto di Arte Mineraria; "Muro di controripa lato Italia, Individuazione dei parametri geotecnici del terreno e del calcolo del coefficiente di spinta attiva", 7.7.1977

Oltre a documenti d'archivio sulla costruzione del Traforo Autostradale messi a disposizione dalle Società Concessionarie.

3. OPERE LATO ITALIA

Il progetto della sistemazione finale lato Italia prevede le seguenti fasi:

1. preparazione del piazzale di cantiere con demolizione del portale del cunicolo di aggiramento.
2. scavo nello spessore del rilevato per raggiungere l'imbocco in morena di versante. Protezione dello scavo con parete chiodata CCS di spessore 15 cm con doppia rete
3. preparazione dell'imbocco, dima e imbocco in naturale

Le opere previste al termine dei lavori di genio civile della galleria di sicurezza sono:

4. realizzazione di un manufatto in artificiale per l'accesso alla galleria di sicurezza
5. realizzazione di un muro di contenimento
6. ritombamento

Si propongono nel seguito le note di calcolo e dimensionamento delle opere previste.

Nelle figure 1 e 2 sono rappresentate le planimetrie della zona di imbocco lato Italia rispettivamente nella fase di cantiere e nella fase definitiva.

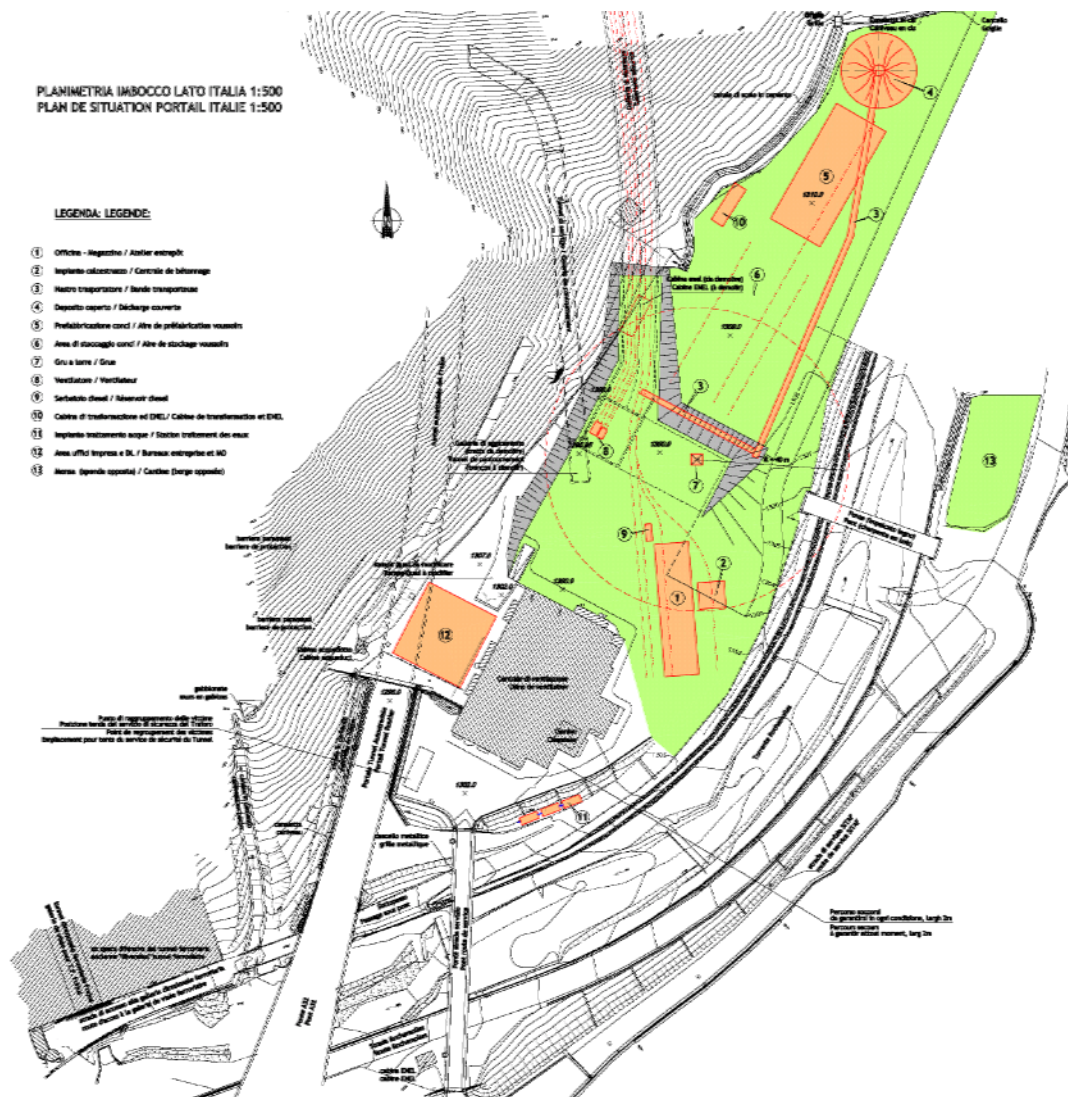


Figura 1- Planimetria in fase di cantiere lato Italia

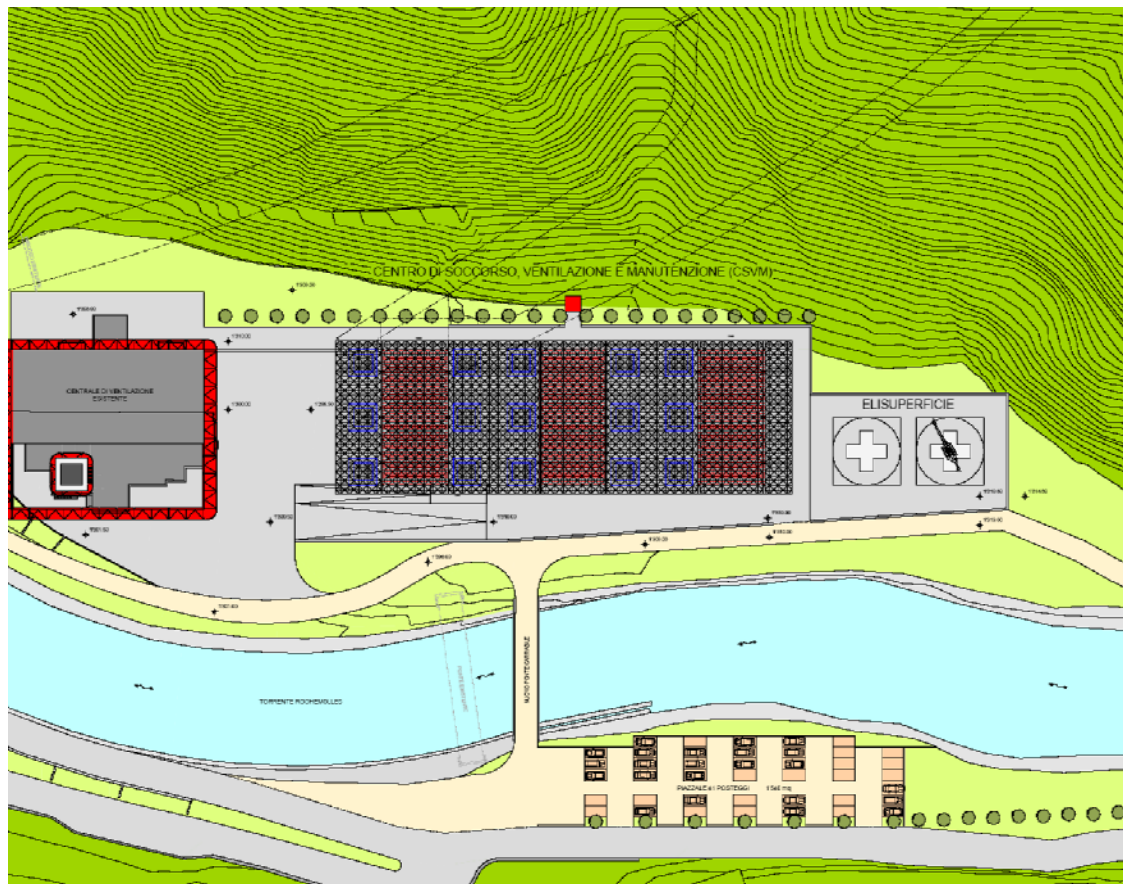


Figura 2- Planimetria in fase definitiva lato Italia

3.1 Scarpata d'accesso all'imbocco lato Italia

La quota di progetto della sezione di imbocco lato I è 1301.00 (portale SUD). Si prevede uno scavo di approccio al portale in morena con parete chiodata e spessore di CCS $s=15$ cm armato con doppia rete.

In figura 3 è riportato un estratto della tavola 6145.2-P-42 in cui sono indicate le dimensioni della scarpata.

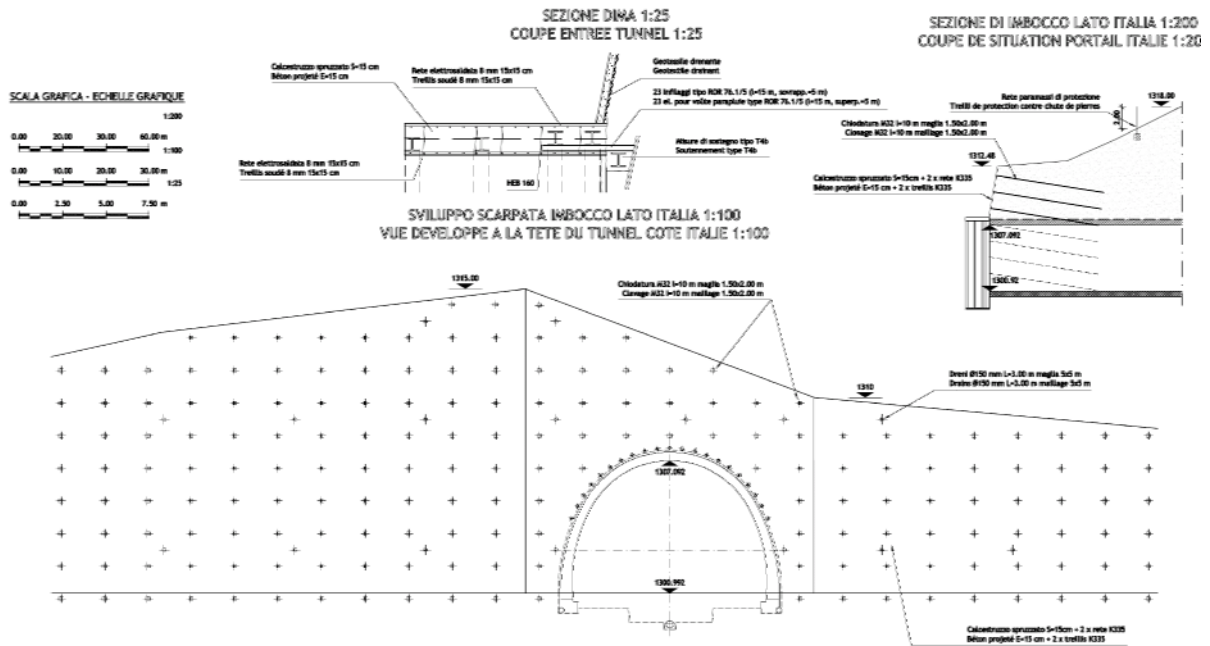


Figura 3 - Geometria della scarpata lato Italia (documento 6145.2-P-42)

3.1.1 Modello della scarpata

Si riscontrano due litotipi geologici:

- Strato superficiale di morena di versante nella parte alta della scarpata, al di sopra dell'attuale imbocco della galleria di aggiramento.
- Strato di materiale di risulta del tunnel autostradale nella parte bassa.

La sezione significativa A-A utilizzata per il dimensionamento della scarpata è indicata in figura 4.

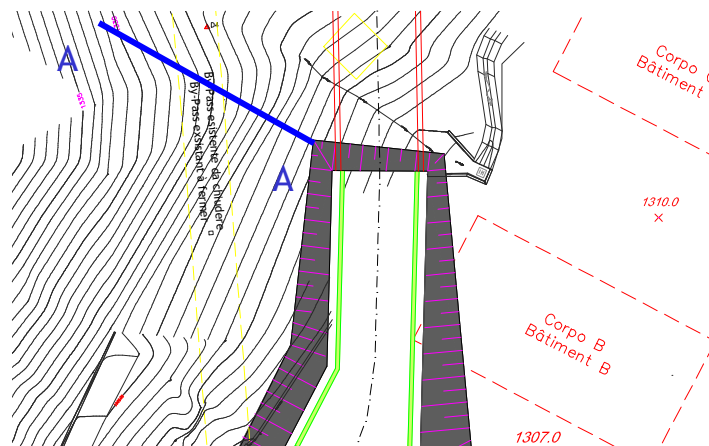


Figura 4 - Sezione di verifica

3.1.2 Caratteristiche fisico-meccaniche della morena di versante

Valori indicativi delle caratteristiche fisico-meccaniche della morena di versante sono riportati in [13.] e [14.].

Secondo quanto riportato in [13.]:

1. il peso secco dell'unità di volume $\gamma_d = 2.25 \text{ g/cm}^3$ per un contenuto d'acqua di $w=4.9\%$;
2. l'angolo di attrito e la coesione, determinati sulla base di prove di taglio diretto, valgono rispettivamente:
 $\varphi = 30 \div 33^\circ$
 $c = 0.8 \div 1.2 \text{ kg/cm}^2$;

In [14.] i valori proposti per l'angolo di attrito e coesione sono:

3. $\varphi = 31 \div 38^\circ$
4. $c = 0$

mentre non è fornita alcuna indicazione sul peso dell'unità di volume.

Il rapporto [14.] evidenzia che i valori dei parametri di resistenza a taglio possono essere localmente più elevati di quelli indicati, essendo l'inclinazione naturale del pendio in alcuni tratti superiore ai 40° (come nella sezione di studio A-A)

Per la morena di versante si sono assunti i seguenti parametri:

1. peso dell'unità di volume $\gamma = \gamma_d(1+w) = 24 \text{ kN/m}^3$.
2. angolo di attrito $\varphi = 40^\circ$ (uguale all'inclinazione del pendio nella sezione A-A)
3. coesione $c = 0 \text{ kPa}$

3.1.3 Caratteristiche fisico-meccaniche del materiale di risulta

Lo scavo della trincea di approccio all'imbocco della galleria di sicurezza è previsto nella zona riempita con il materiale di risulta della galleria stradale. Le caratteristiche di questo materiale sono state valutate sulla base dei risultati di prove SPT effettuate nel corso della campagna di indagini del 2004 (si veda allegato 4 al documento 6145.0-R-35).

I valori medi N_{SPT} sono stati determinati lungo le verticali dei sondaggi S3 e S4 posti all'imbocco della galleria di sicurezza:

1. sondaggio S3:
spessore dello strato $h_1 = 12 \text{ m}$
numero di colpi $N_{SPT} = N_2 + N_3 = 17.5$

tensione verticale media a metà dello strato $\sigma_v = \gamma h_1 / 2 = 114 \text{ kPa}$ ($\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$)

2. sondaggio S4:

spessore dello strato $h_2 = 15 \text{ m}$

numero di colpi $N_{SP\Gamma} = N_2 + N_3 = 15$

tensione verticale media a metà dello strato $\sigma_v = \gamma h_2 / 2 = 143 \text{ kPa}$ ($\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$)

Noti NSPT e σ_v , l'angolo di attrito φ , determinato utilizzando la correlazione di de Mello (1971), vale $\varphi = 35^\circ \div 36^\circ$.

Per il materiale di risulta si sono assunti i seguenti parametri:

1. peso dell'unità di volume $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
2. angolo di attrito $\varphi = 35^\circ$
3. coesione $c = 0 \text{ kPa}$

3.1.4 Dimensionamento delle chiodature

Le chiodature sono state dimensionate con riferimento alla sezione A-A (figura 4) il cui profilo è riportato in figura 5.

Per il calcolo è stato impiegato il programma SNAILZ (CALTRANS Division of Materials and Foundations, www.dot.ca.gov/hq/esc/geotech) che consente di determinare il coefficiente di sicurezza minimo di una parete chiodata.

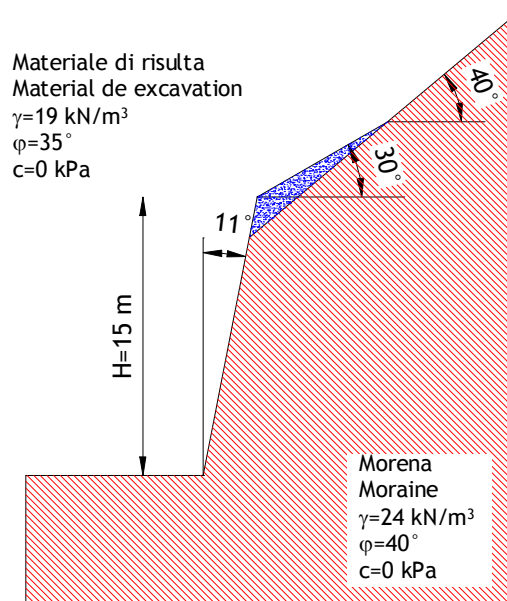


Figura 5 - Profilo della sezione A-A

I dati di input richiesti sono:

1. Caratteristiche geometriche del muro:

- a) altezza della parete: H
- b) inclinazione della parete: α
- c) inclinazione del primo tratto di scarpata al di sopra del muro: β_1
- d) lunghezza del primo tratto di scarpata: L_1
- e) inclinazione del secondo tratto di scarpata: β_2
- f) lunghezza del secondo tratto di scarpata: L_2
- g) inclinazione del terzo tratto di scarpata β_3

2. Caratteristiche delle chiodature:

- a) numero di livelli dei chiodi: n
- b) lunghezza dei chiodi: L
- c) inclinazione dei chiodi: δ
- d) distanza del primo livello di chiodi dalla cresta del muro: h_1
- e) spaziatura verticale: S_v
- f) spaziatura orizzontale: S_h
- g) resistenza a taglio del sistema di ancoraggio: R (che dipende da spessore del rivestimento in calcestruzzo e tipo della piastra di ancoraggio; ad esempio per CCS $s=15$ cm e piastra $250 \times 250 \times 40$ mm si ha $R \sim 500$ kN)
- h) Tensione di snervamento dei chiodi: f_y
- i) Diametro della barra: D_1
- j) Diametro del foro: D_2

3. Caratteristiche dei terreni:

- a) Peso dell'unità di volume strato 1: γ_1
- b) Angolo di attrito dello strato 1: φ_1
- c) Coesione dello strato 1: c_1
- d) Adesione all'interfaccia terreno (strato 1)-chiodo: q_1
- e) Peso dell'unità di volume strato 2: γ_2
- f) Angolo di attrito dello strato 2: φ_2
- g) Coesione dello strato 2: c_2
- h) Adesione all'interfaccia terreno (strato 2)-chiodo: q_2

I valori di input utilizzati sono sintetizzati nella tabella seguente:

Caratteristiche geometriche del muro		
H	[m]	15
α	[°]	11
β_1	[°]	30
L ₁	[m]	8.1
β_2	[°]	40
L ₂	[m]	9.1
β_3	[°]	40
Caratteristiche delle chiodature		
n	-	10
L	[m]	10
δ	[°]	10
h ₁	[m]	0.5
S _v	[m]	1.5
S _h	[m]	2.0
R	[kN]	500
f _y	[MPa]	520
D ₁	[mm]	32
D ₂	[mm]	150
Caratteristiche dei terreni		
γ_1	[kN/m ³]	19
φ_1	[°]	35
c ₁	[kPa]	0
q ₁	[kPa]	100
γ_2	[kN/m ³]	24
φ_2	[°]	35
c ₂	[kPa]	0
q ₂	[kPa]	150

I risultati del calcolo sono riportati nell'allegato 1.

Adoperando chiodi D=32 mm, da 10 m a maglia 1.5m x 2.0m e CCS da 15 cm e doppia rete, il coefficiente di sicurezza minimo della parete è FS=1.3, che risulta essere adeguato per scarpate provvisorie come quella in oggetto.

3.2 Muro di sostegno lato Italia

Il piazzale di accesso alla sas è delimitato a Nord da un muro di sostegno di altezza massima 12 m.

Le ipotesi di calcolo prevedono, per il materiale di riempimento immediatamente a tergo del muro: $\gamma=20$ kN/m³, $\varphi=33^\circ$ e c=0 kPa.

Si assume una accelerazione orizzontale pari a $a_h=0.15$ g (zona di terza categoria).

I calcoli di dimensionamento sono riportati in allegato 2, ne risultano le geometrie in figura 6.

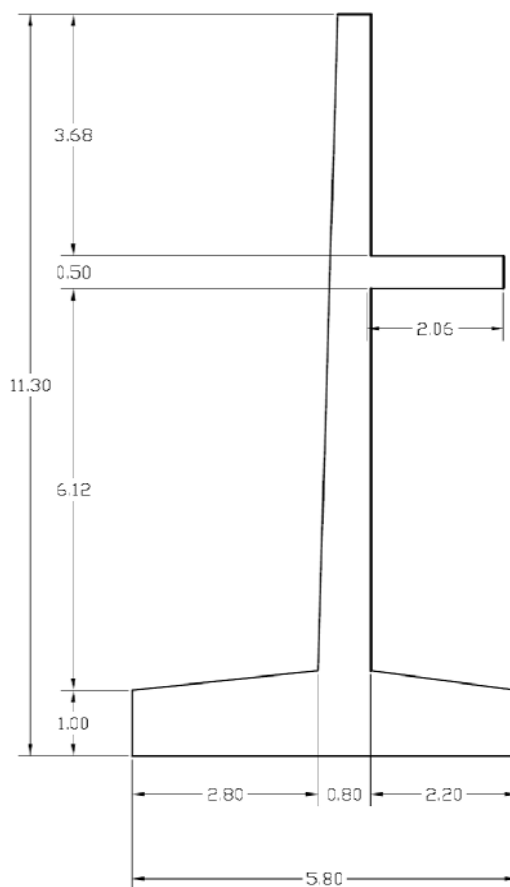


Figura 6 - Geometria del muro di sostegno definitivo lato Italia

3.3 Struttura artificiale lato Italia

L'approccio al portale in morena lato Italia avviene attraverso una galleria artificiale lunga circa 35 m. In figura 7 sono rappresentati pianta e sezione longitudinale della struttura. In figura 8 è invece riportata la sezione di verifica della struttura.

Al termine della costruzione la galleria artificiale verrà ricoperta. La struttura è stata dimensionata ipotizzando una altezza massima del terreno di ricoprimento di 4 m.

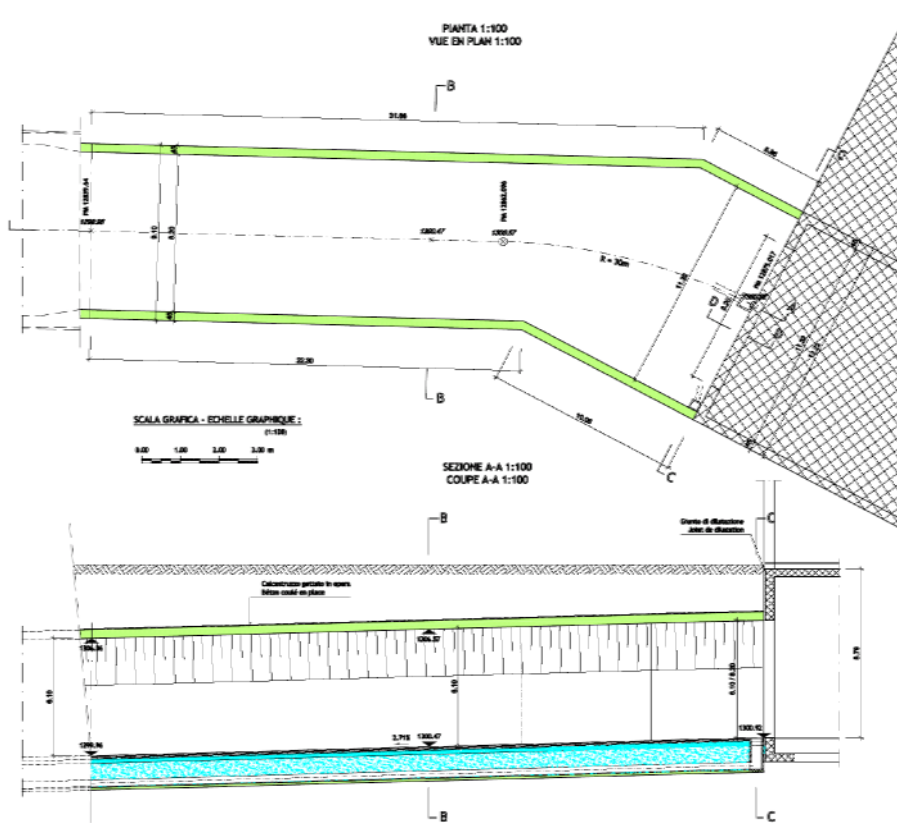


Figura 7 - Pianta e sezione della tratta in artificiale

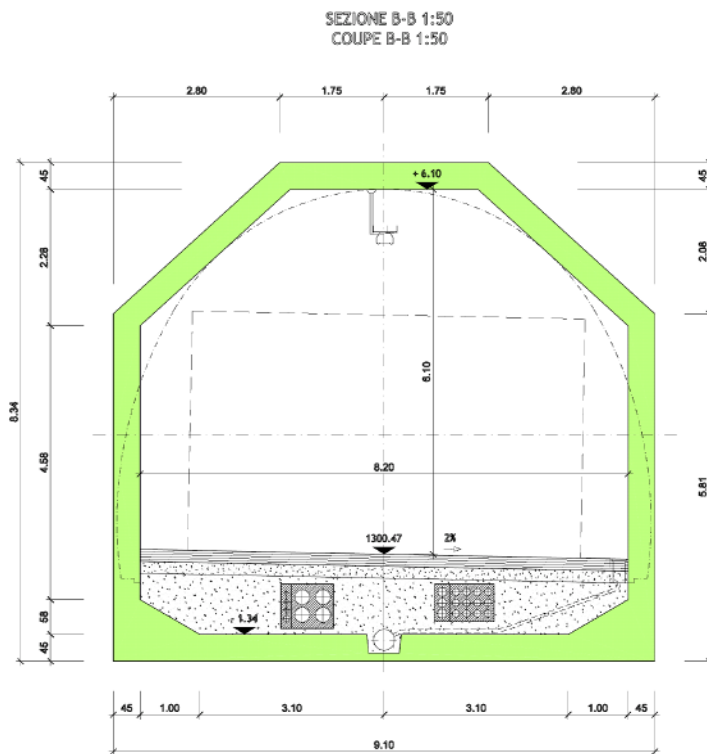


Figura 8 - Sezione di verifica della tratta in artificiale

I carichi presi in considerazione sono i seguenti:

1. peso proprio della struttura
2. sovraccarico del terreno di ricoprimento: $q_1 = \gamma h$ ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $h = 4 \text{ m}$)
3. sovraccarico stradale: $q_2 = 20 \text{ kPa}$
4. spinta orizzontale del terreno: carico triangolare variabile di valore $q_3 = \gamma k_0 z$ ($k_0 = 1$ a vantaggio di sicurezza).

I diagrammi delle sollecitazioni, gli spostamenti e le verifiche di resistenza sono riportati nell'allegato 3.

Le sollecitazioni massime valgono:

$$N_{\max} = 776 \text{ kN/m'}$$

$$M_{\max}^+ = 556 \text{ kNm/m' (N=706 kN/m')}$$

$$M_{\max}^- = -356 \text{ kNm/m' (N=690 kN/m')}$$

$$V_{\max} = 577 \text{ kN/m'}$$

La sezione è verificata con armature longitudinali simmetriche $\varnothing 26/20 \text{ cm}$. E' richiesta l'armatura a taglio minima.

4. OPERE LATO FRANCIA

La quota progetto della sezione di imbocco lato F è 1227.00 (Portale NORD). Per la sistemazione finale della parte alta si rimanda agli elaborati del progetto opere esterne del raggruppamento Ingerop, Acoustb, Douillet.

Il progetto della sistemazione finale prevede i seguenti interventi:

1. protezione della scarpata di accesso all'imbocco con chiodature e CCS di spessore 15 cm con doppia rete
2. parete chiodata e rilevato in terra rinforzata per la realizzazione della pista di cantiere

4.1 Scarpata d'accesso all'imbocco lato Francia

La quota di progetto della sezione di imbocco lato F è 1227.00 (portale NORD). La scarpata di approccio al portale attraversa la formazione delle anidriti fratturate del versante Nord.

In figura 9 è riportato un estratto della tavola 6145.2-P-38 in cui è indicata la geometria della scarpata.

Le caratteristiche fisico- meccaniche delle anidriti valgono:

- $\gamma=26 \text{ kN/m}^3$,
- $\varphi=35^\circ$ e
- $c=500 \text{ kPa}$

Per il dimensionamento delle chiodature è stato impiegato il programma SNAILZ, con i seguenti dati di input:

Caratteristiche geometriche del muro		
H	[m]	15
α	[°]	11
β_1	[°]	48
L_1	[m]	5.8
β_2	[°]	45
L_2	[m]	7.0
β_3	[°]	54
Caratteristiche delle chiodature		
n	-	10
L	[m]	7
δ	[°]	10
h_1	[m]	0.5
S_v	[m]	1.5
S_h	[m]	2.5
R	[kN]	300
f_y	[MPa]	420
D_1	[mm]	25
D_2	[mm]	100
Caratteristiche dei terreni		
γ_1	[kN/m ³]	26
φ_1	[°]	35
c_1	[kPa]	500
q_1	[kPa]	100

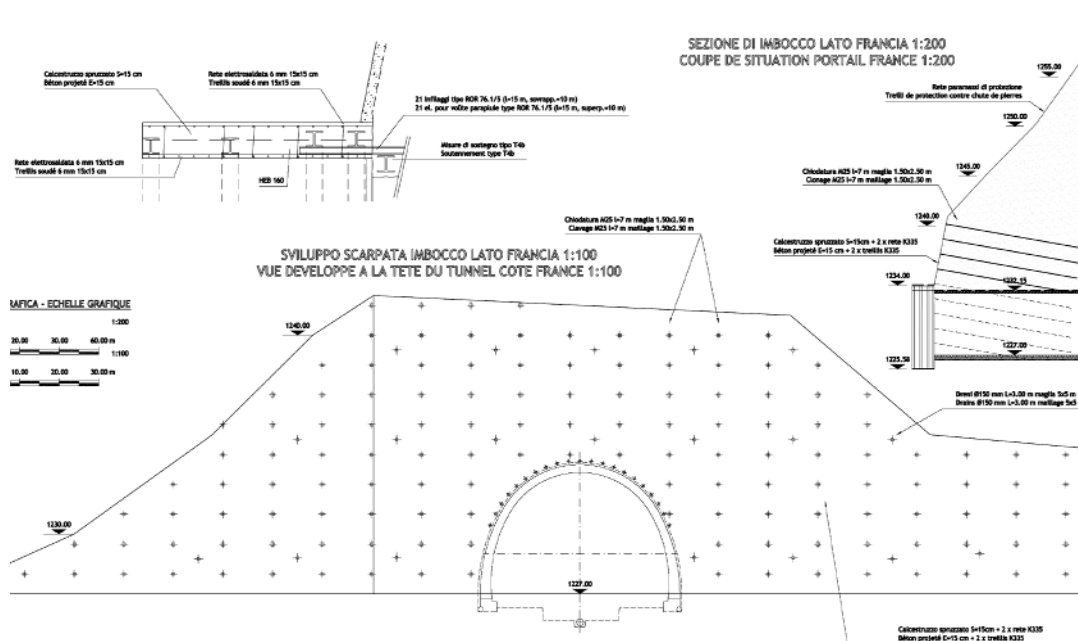


Figura 9 Geometria della scarpata lato Francia (documento 6145.2-P-38)

I risultati del calcolo sono riportati nell'allegato 4.

Adoperando chiodi D=25 mm, da 7 m a maglia 1.5m x 2.5m e CCS da 15 cm e doppia rete, il coefficiente di sicurezza minimo della parete è FS=6.0.

4.2 Parete chiodata e rilevato in terra rinforzata lato Francia

Per poter realizzare la pista di cantiere dal lato Francia, tra le sezioni 1 e 4 indicate in figura 10, è prevista la costruzione di un'opera di sostegno provvisorio in terra rinforzata (figura 11).

La geometria dell'intervento nella sezione 1-1 è riportata in figura 11. Per garantire una adeguata larghezza della pista (>8 m) è necessario scavare il profilo attuale della discarica nella zona compresa tra l'accesso al traforo e la prima berma. Nell'allegato 5 sono riportate le verifiche di stabilità della scarpata (sezione 1-1) prima e dopo lo scavo.

I risultati mostrano che il valore del coefficiente di sicurezza a fine scavo risulta minore dell'unità, e le condizioni di stabilità della scarpata devono essere migliorate costruendo una parete chiodata.

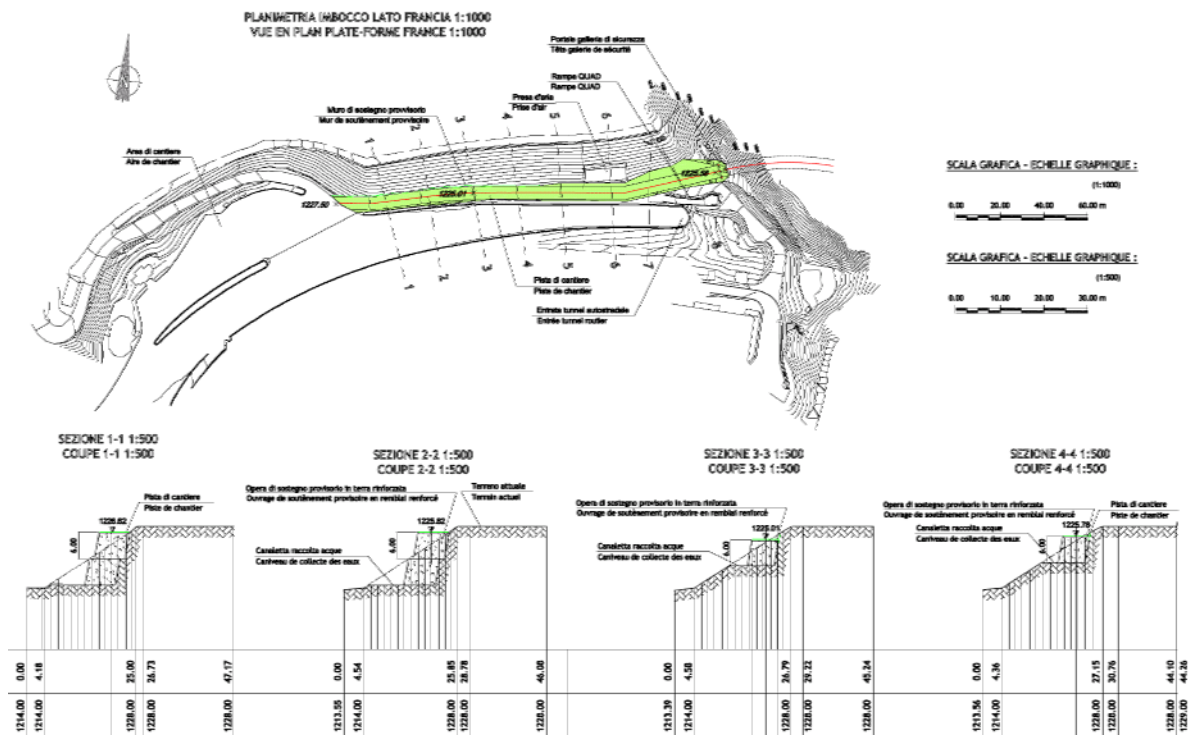


Figura 10 - Pista di cantiere: pianta e sezioni (documento 6145.2-P-35)

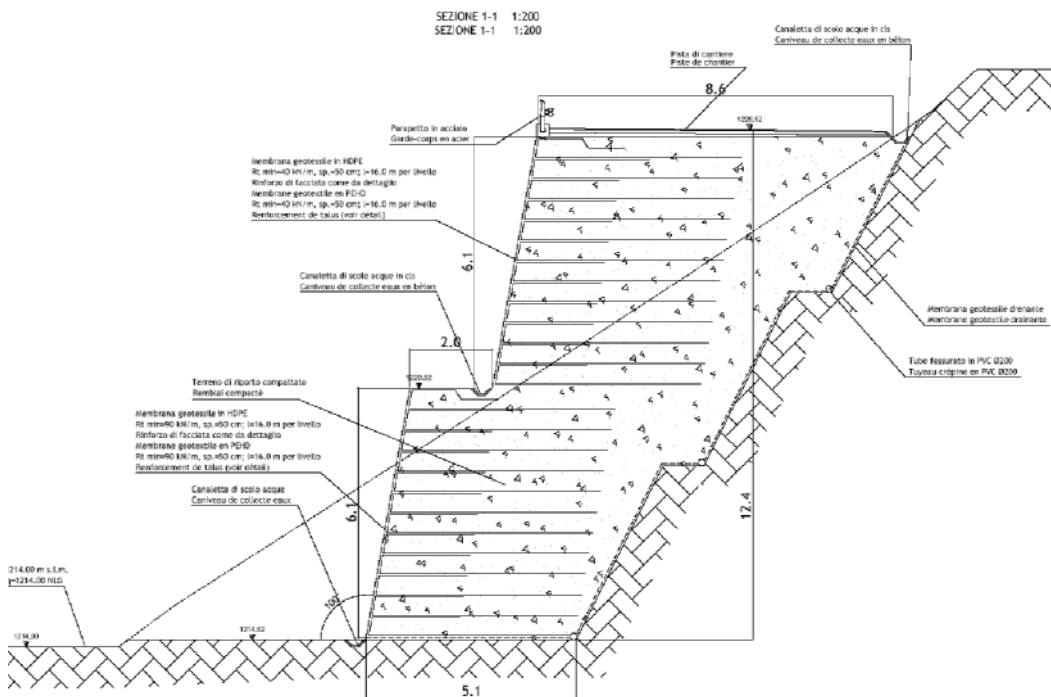


Figura 11 - Rilevato in terra rinforzata

Per il dimensionamento delle chiodature è stato utilizzato il programma di calcolo SNAILZ, con i seguenti dati di input:

Caratteristiche geometriche del muro		
H	[m]	12
α	[°]	10
β_1	[°]	30
L ₁	[m]	4.0
β_2	[°]	0
L ₂	[m]	6.0
β_3	[°]	0
Caratteristiche delle chiodature		
n	-	9
L	[m]	8
δ	[°]	10
h ₁	[m]	0.5
S _v	[m]	1.5
S _h	[m]	2.0
R	[kN]	500
f _y	[MPa]	520
D ₁	[mm]	28
D ₂	[mm]	150
Caratteristiche dei terreni		
γ_1	[kN/m ³]	23
ϕ_1	[°]	33
c ₁	[kPa]	0
q ₁	[kPa]	100

I risultati del calcolo, riportati nell'allegato 6, forniscono un coefficiente di sicurezza minimo di 1.3, che risulta essere adeguato per scarpate provvisorie.

Per il calcolo dell'opera di sostegno è stato utilizzato il programma GWS della ITALDRENI con i seguenti dati geotecnici di input:

Terreno di riporto: $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $\phi=33^\circ$ e $c=0 \text{ kN/m}^2$

Terreno a monte: $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $\phi=33^\circ$ e $c=0 \text{ kN/m}^2$

Terreno di base: $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $\phi=33^\circ$ e $c=0 \text{ kN/m}^2$

Carico sulla strada: $q=20 \text{ kPa}$

La struttura risulta verificata a patto di utilizzare:

- per la parte inferiore: geogriglie HPDE, tensione ammissibile di 80 kN/m, spaziatura 50 cm e cassero di protezione del bordo di scarpata.
- per la parte superiore: geogriglie HPDE. tensione ammissibile di 55 kN/m, spaziatura 50 cm e cassero di protezione del bordo di scarpata.

I risultati del calcolo sono riportati nell'allegato 7.

1. INTRODUCTION

Le Tunnel Routier du Fréjus relie le Piémont (Bardonecchia, Italie) à la Savoie (Modane, France), sur l'axe Turin-Lyon. Il est caractérisé par une circulation bidirectionnelle, une largeur carrossable de 9 mètres et une longueur de 12'867.814 mètres.

Pour augmenter la sécurité de l'ouvrage, une galerie de sécurité sera réalisée parallèlement au Tunnel actuel, à 50 m d'entraxe avec le Tunnel routier. 34 Abris seront ainsi réalisés, tous les 380 m environ dans les rameaux transversaux entre Tunnel et Galerie.

Les dimensionnements des ouvrages extérieurs nécessaires au rangement final des entrées sont objets de ce rapport. En particulier, les ouvrages suivants ont été considérés:

- tranchée d'accès à l'entrée côté Italie
- mur de soutènement définitif côté Italie
- tranchée d'accès à l'entrée côté France
- remblai en terre renforcée côté France

2. DOCUMENTATION CONSULTEE

- [1.] Beaumont; "Sur les roches qu'on a rencontrées dans le creusement du tunnel des alpes occidentales entre Modane et Bardonnèche" 1871
- [2.] L. Peretti; "Geognosia schematica della regione alpina interessata dal Traforo Autostradale del Fréjus e suoi risvolti geoapplicativi", Bollettino della Associazione Min.eraria Subalpina anno XIV, num. 1, Marzo 1977.
- [3.] R. Amat-Chantoux; "Note et Compte rendu de visites au Tunnel autoroutier du Frejus Modane Savoie", 1978
- [4.] MUSI.NET; Progetto preliminare galleria di sicurezza; Relazione geotecnica geomeccanica del tracciato della galleria di sicurezza, gs96RT19
- [5.] Sondages carottés exécutés dans le tunnel ferroviaire 1.12.66; Etude des caractéristiques des échantillons en provenance du Tunnel du Frejus, 3.6.67
- [6.] Soc. de recherches géophysiques; "étude géotechnique du tunnel et la galerie de reconnaissance" Mai 1975

- [7.] Simecsol; "Rapport sur les essais de laboratoire d'échantillons en provenance du Tunnel du Fréjus" 21.05.75
- [8.] Politecnico di Torino "Tunnel del Frejus Misure di meccanica delle rocce e di geofisica effectuées dans la galerie de reconnaissance lato I", 05.08.1966
- [9.] COGEFAR - Rapport sugli studi effectuati nei primi 2000 m di avanzamento 03.1977
- [10.] MUSI.NET Progetto preliminare galleria di sicurezza "Indagini geotecniche in situ", gs96RT20
- [11.] Sulem, J; "Comportement Différé des Galeries Profondes" Thèse pour l'obtention du titre de Docteur de Recherche, ENPC 29.11.1983.
- [12.] Lombardi SA "Dossier d'avan-projet détaillé de la galerie de sécurité" 12.7.04

Ainsi que des documents d'archive sur la construction du Tunnel Routier, mises à disposition par les Sociétés Concessionnaires.

3. OUVRAGES COTE ITALIE

Le projet du rangement final côté Italie prévoit les phases suivantes:

1. préparation de l'esplanade de chantier avec démolition du portail du tunnel de contournement
2. creusement dans l'épaisseur du remblai existant pour atteindre l'entrée en moraine de versant. Protection du creusement avec une paroi cloué en CCS d'épaisseur 15 cm avec réseau double
3. préparation de l'entrée, casquette et entrée en souterrain

Les ouvrages prévus à la fin des travaux de génie civil de la galerie de sûreté sont:

- réalisation d'une tranchée couverte pour l'accès à la galerie de sûreté
- réalisation d'un mur de soutien
- remplissage

Les rapports de calcul et dimensionnement des ouvrages prévus sont proposées dans la suite.

Les plans de la zone d'entrée côté Italie dans la phase de chantier et dans la phase définitive sont illustrés dans les figures 1 et 2 respectivement.

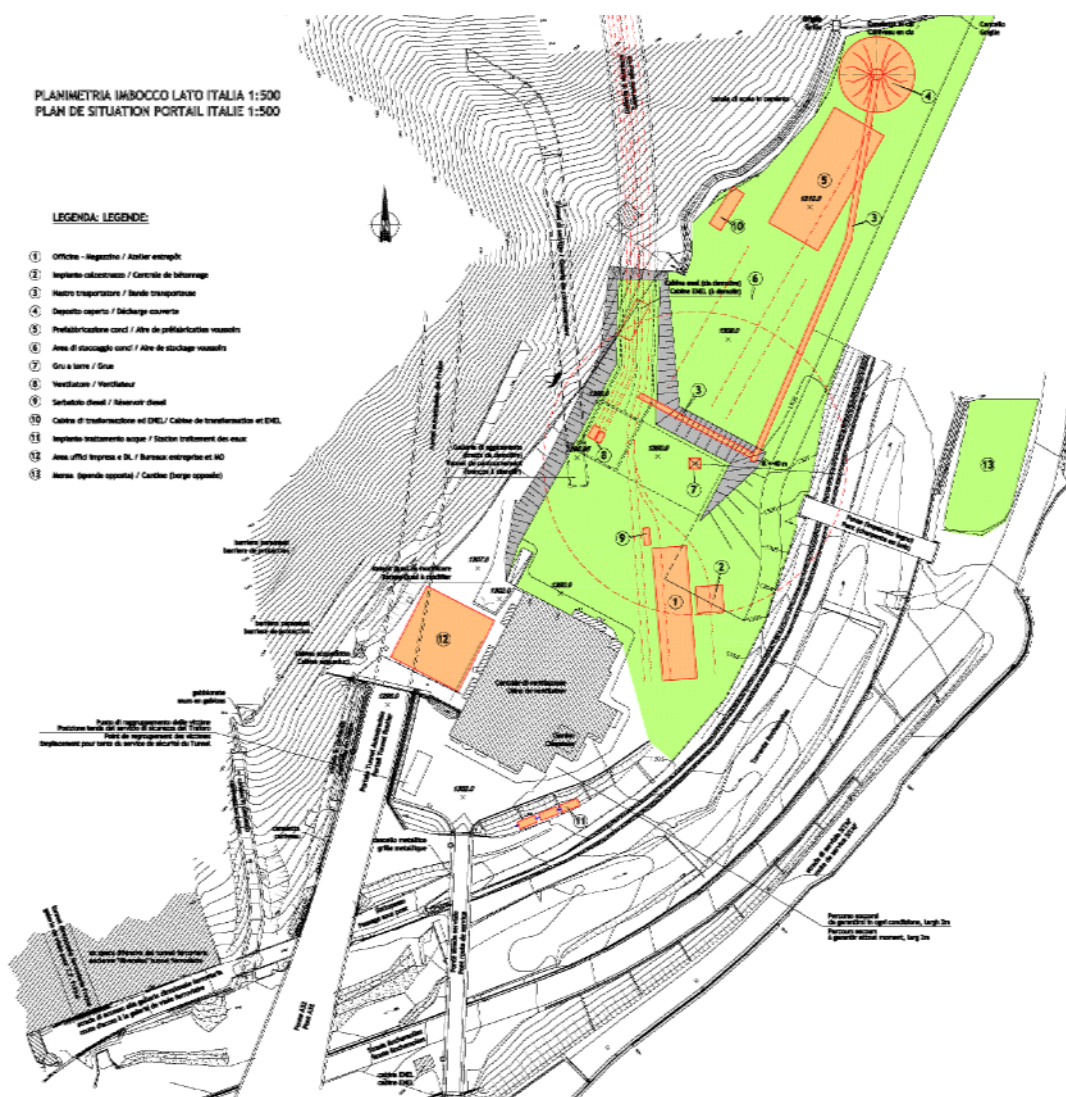


Figure 1- Plan de la zone d'entrée côté Italie dans la phase de chantier

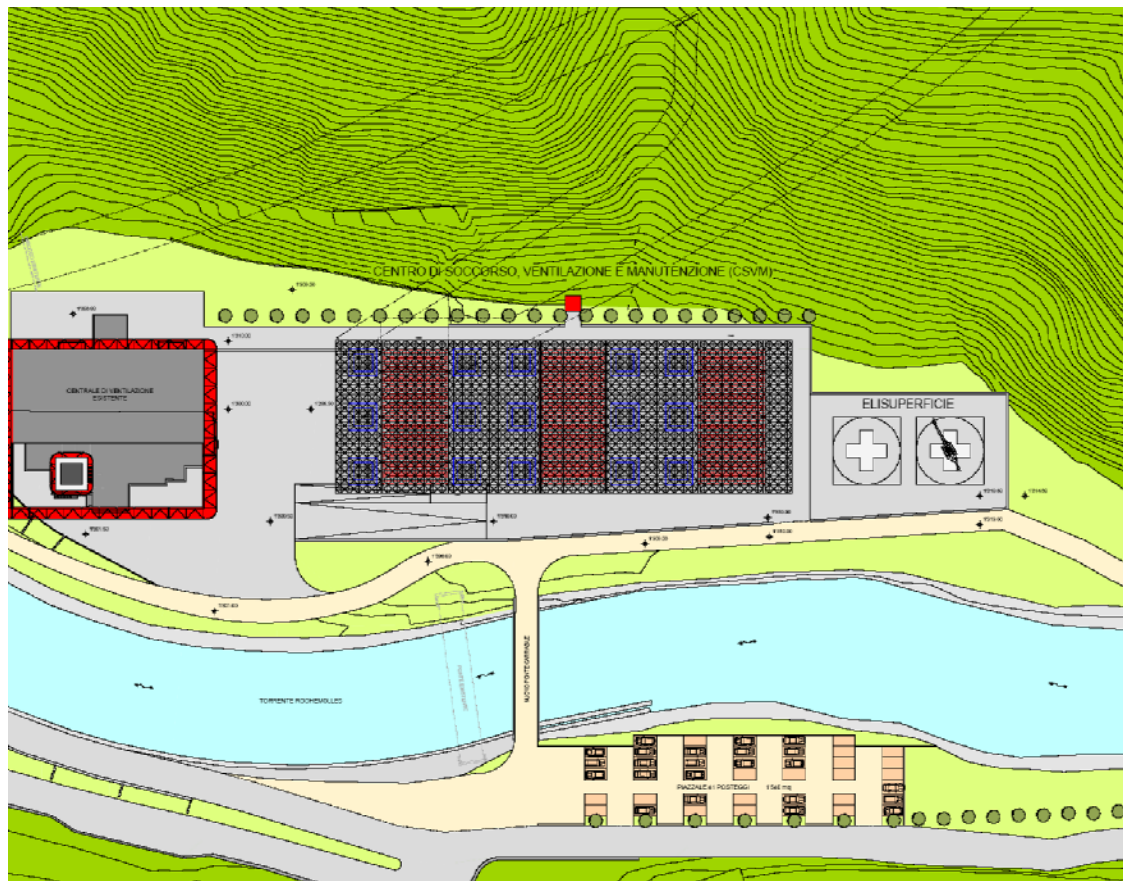


Figure 2- Plan de la zone d'entrée côté Italie dans la phase finale

3.1 Tranchée d'accès à l'entrée côté Italie

La cote de projet de la coupe d'entrée côté Italie est 1301.00 (portail SUD). Le creusement d'approche au portail en moraine sera réalisé avec une paroi cloué en CCS armé d'épaisseur $s=15$ cm avec réseau double.

Les dimensions du talus sont indiquées en figure 3 (document 6145.2-P-42).

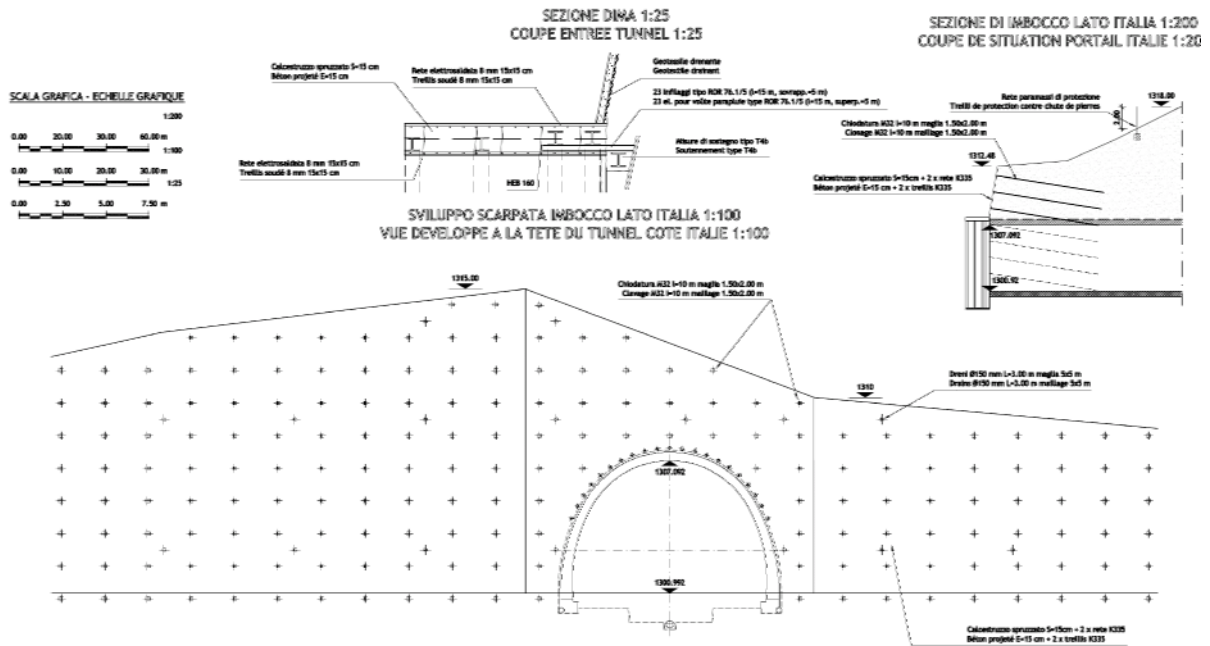


Figure 3 - Dimensions de la tranchée d'accès à l'entrée côté Italie (document 6145.2-P-42).

3.1.1 Modèle du talus

Ils s'observent deux formations géologiques:

- Couche superficielle de moraine de versant dans la partie haute du talus, au-dessus de l'entrée actuelle de la galerie de contournement.
- Couche de déblai du tunnel autoroutier dans la partie basse.

La coupe significative A-A utilisée pour le dimensionnement du talus est indiquée en figure 4.

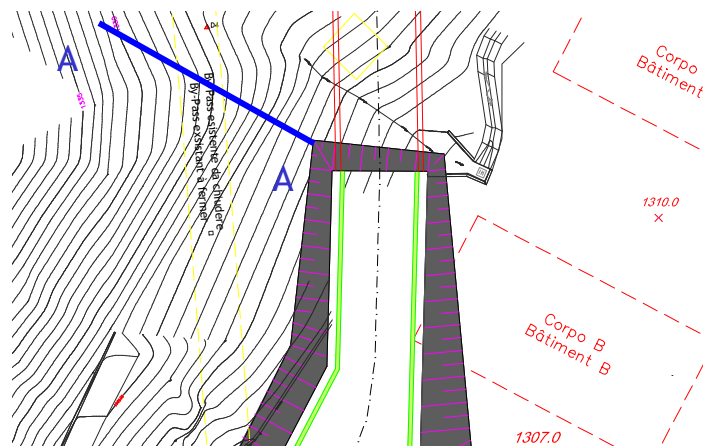


Figure 4 - Coupe de vérification A-A.

3.1.2 Propriétés physique-mécaniques de la moraine de versant

Valeurs indicatives des propriétés physique-mécaniques de la moraine de versant sont reportées en [13] et [14].

Selon [13]:

1. le poids sec de l'unité de volume $\gamma_d = 2.25 \text{ g/cm}^3$ pour un teneur en eau de $w=4.9\%$;
2. l'angle de frottement et la cohésion, déterminés sur la base des essais de cisaillement directe, valent respectivement:

$$\varphi = 30 \div 33^\circ$$

$$c=0.8 \div 1.2 \text{ kg/cm}^2;$$

Selon [14], les valeurs de l'angle de frottement et de la cohésion sont:

3. $\varphi = 31 \div 38^\circ$

4. $c=0$

le poids de l'unité de volume n'est pas précisé.

Le rapport [14] souligne que les valeurs des paramètres de résistance à cisaillement peuvent être localement plus élevées que ceux-la indiqués, en étant l'inclinaison naturelle de la pente en quelques traite supérieur aux 40° (comme dans la coupe d'étude A-A)

Les paramètres suivants sont assumés pour la moraine de versant:

1. poids volumique $\gamma = \gamma_d(1+w) = 24 \text{ kN/m}^3$
2. angle de frottement $\varphi = 40^\circ$ (égal à l'inclinaison de la pente dans la coupe A-A)
3. cohésion $c=0 \text{ kPa}$

3.1.3 Propriétés physique-mécaniques du déblai

Le creusement de la tranchée d'approche à l'entrée de la galerie de sûreté est prévu dans la zone remplie avec le déblai de la galerie routière. Les caractéristiques de ce matériel ont été évaluées sur la base des résultats des essais SPT effectuées pendant la campagne d'essais du 2004 (à voir annexe 4 au document 6145.0-R-35).

Les valeurs moyennes N_{SPT} ont été déterminés le long des verticales des sondages S3 et S4 situés à l'entrée de la galerie de sûreté:

1. sondage S3:

$$\text{épaisseur de la couche } h_1 = 12 \text{ m}$$

$$\text{numéro de coups } N_{\text{SPT}} = N_2 + N_3 = 17.5$$

tension moyenne verticale à la moitié de la couche $\sigma_v = \gamma h_1 / 2 = 114$ kPa
($\gamma = 19$ kN/m³)

2. sondage S4:

épaisseur de la couche $h_2 = 15$ m

numéro de coups $N_{SPT} = N_2 + N_3 = 15$

tension moyenne verticale à la moitié de la couche $\sigma_v = \gamma h_2 / 2 = 143$ kPa
($\gamma = 19$ kN/m³)

L'angle de frottement peut être déterminé en fonction de N_{SPT} et σ_v en utilisant la corrélation de Mello (1971): $\varphi = 35^\circ \div 36^\circ$

Les paramètres suivants sont assumés pour le déblai:

1. poids volumique $\gamma = 19$ kN/m³
2. angle de frottement $\varphi = 35^\circ$
3. cohésion $c = 0$ kPa

3.1.4 Dimensionnement des clouages

La coupe de référence pour le dimensionnement des clouages est la coupe A-A (figure 4) dont le profil est reporté en figure 5.

Le calcul a été effectué en utilisant le programme SNAILZ (CALTRANS Division of Materials and Foundations, www.dot.ca.gov/hq/esc/geotech) qui permet de déterminer le coefficient de sûreté minimum d'une paroi cloué.

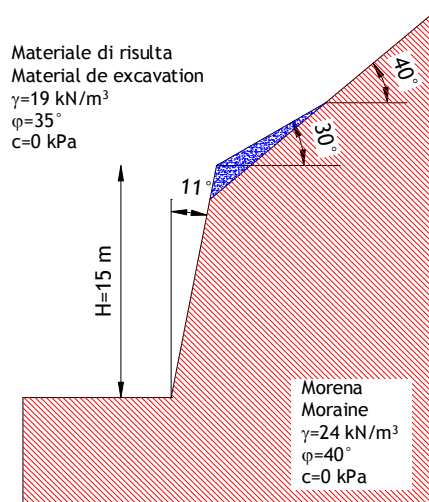


Figure 5 - Profil de la coupe de référence A-A

Les données d'input demandées sont:

1. caractéristiques géométriques de la paroi:

- a) hauteur de la paroi: H
- b) inclinaison de la paroi: α
- c) inclinaison du premier segment du talus au-dessus de la paroi: β_1
- d) longueur du premier segment du talus: L_1
- e) inclinaison du second segment du talus: β_2
- f) longueur du second segment du talus: L_2
- g) inclinaison du troisième segment du talus: β_3

2. caractéristiques des clouages:

- a) numéro de niveaux des clous: n
- b) longueur des clous: L
- c) inclinaison des clous: δ
- d) distance du premier niveau de clous de la crête de la paroi: h_1
- e) espacement vertical: s_v
- f) espacement horizontal: s_h
- g) résistance à cisaillement du système d'ancrage: R (qui dépend de l'épaisseur du revêtement en béton et du type de la plaque d'ancrage; par exemple pour CCS $s=15$ cm et plaque $250 \times 250 \times 40$ mm on a $R \sim 500$ kN)
- h) limite d'élasticité des clous: f_y
- i) diamètre de la barre: D_1
- j) diamètre du trou: D_2

3. caractéristiques des terrains:

- a) poids volumique de la couche 1: γ_1
- b) angle de frottement de la couche 1: φ_1
- c) cohésion de la couche 1: c_1
- d) adhésion à l'interface terrain (couche 1)-clou: q_1
- e) Poids volumique de la couche 2: γ_2
- f) angle de frottement de la couche 2: φ_2
- g) cohésion de la couche 2: c_2
- h) adhésion à l'interface terrain (couche 2)-clou: q_2

Les valeurs d'input utilisé sont synthétisées dans le tableau suivant:

Caractéristiques géométriques du mur		
H	[m]	15
α	[°]	11
β_1	[°]	30
L ₁	[m]	8.1
β_2	[°]	40
L ₂	[m]	9.1
β_3	[°]	40
Caractéristiques des clouages		
n	-	10
L	[m]	10
δ	[°]	10
h ₁	[m]	0.5
S _v	[m]	1.5
S _h	[m]	2.0
R	[kN]	500
f _y	[MPa]	520
D ₁	[mm]	32
D ₂	[mm]	150
Caractéristiques des terrains		
γ_1	[kN/m ³]	19
φ_1	[°]	35
c ₁	[kPa]	0
q ₁	[kPa]	100
γ_2	[kN/m ³]	24
φ_2	[°]	35
c ₂	[kPa]	0
q ₂	[kPa]	150

Les résultats du calcul sont reportés dans l'annexe 1.

En utilisant clous diamètre D=32 mm, longueur 10 m, tricot 1.5mx2.0m et revêtement en béton épaisseur 15 cm avec réseau double, le coefficient de sûreté minimal de la paroi est FS=1.3, qui résulte être adéquat pour tranchées provisoires comme celle en objet.

3.2 Mur de soutien côté Italie

L'esplanade d'accès au sas est délimitée à Nord d'un mur de soutien de hauteur maximale 12 m.

Le matériel de remplissage immédiatement derrière le mur a les caractéristiques suivantes: $\gamma=20$ kN/m³, $\varphi=33^\circ$ e c=0 kPa.

L'accélération sismique horizontal est égal à $a_h=0.15$ g (zone de troisième catégorie). Les calculs de dimensionnement ont été effectués pour la géométrie du mur illustrée en figure 6 et sont reportés en annexe 2.

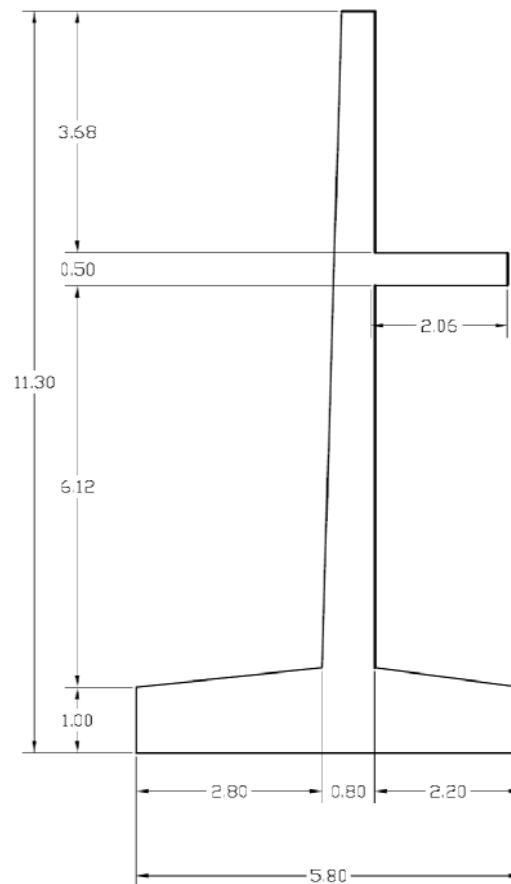


Figure 6 - Géométrie du mur de soutien côté Italie

3.3 Tranchée couverte côté Italie

L'approche au portail en moraine côté l'Italie procède à travers une tranchée couverte longue environ 35 m. Le plan et la coupe longitudinale de la structure sont illustrées en figure 7. La section de vérification de la structure est illustrée en figure 8.

A la fine des travaux, la tranchée couverte viendra recouverte. La structure a été dimensionnée en supposant une hauteur maximale du terrain de couverture de 4 m.

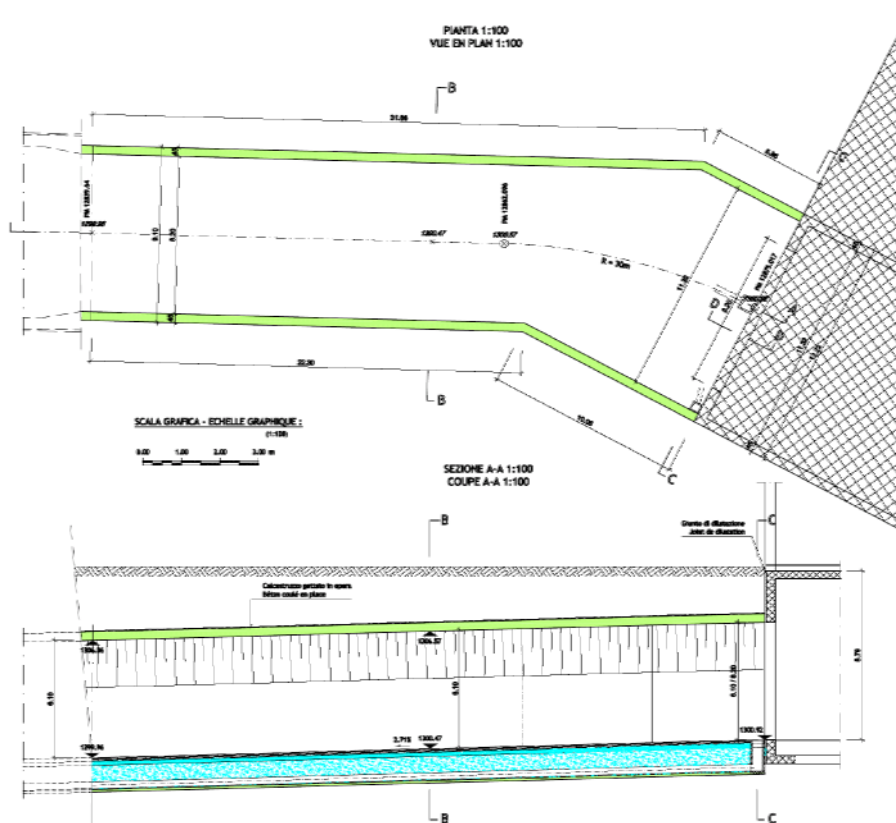


Figure 7 - Plan et coupe longitudinale de la tranchée couverte côté Italie

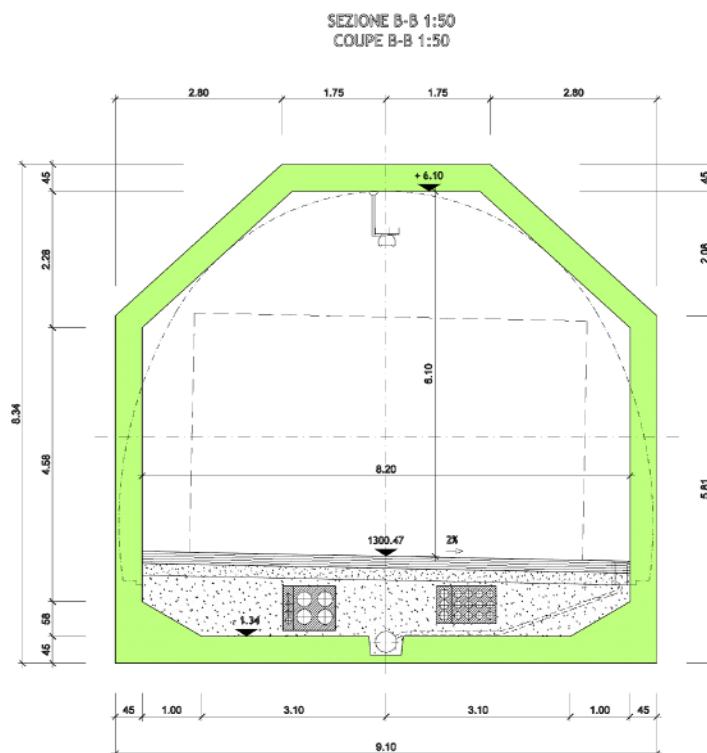


Figure 8 - Section de vérification de la tranchée couverte côté Italie

Les charges prises en compte sont les suivant:

1. poids propre de la structure
2. surcharge du terrain de couverture: $q_1 = \gamma h$ ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $h = 4 \text{ m}$)
3. surcharge routier: $q_2 = 20 \text{ kPa}$
4. pousse horizontale du terrain: charge triangulaire variable de valeur $q_3 = \gamma k_0 z$ ($k_0 = 1$ à l'avantage de sûreté).

Les diagrammes des sollicitations, les déplacements et les vérifications de résistance sont reportées dans l'annexe 3.

Les sollicitations maximales valent:

$$N_{\max} = 776 \text{ kN/m}$$

$$M_{\max}^+ = 556 \text{ kNm/m (N=706 kN/m)}$$

$$M_{\max}^- = -356 \text{ kNm/m (N=690 kN/m)}$$

$$V_{\max} = 577 \text{ kN/m}$$

La section est vérifiée avec des armures longitudinaux symétriques $\phi 26/20 \text{ cm}$. Il est nécessaire l'armure à cisaillement minimale.

4. OUVRAGES COTE FRANCE

La cote de projet de la coupe d'entrée côté France est 1227.00 (Portail NORD). Pour le rangement final de la partie haute on renvoie aux rapports de projet des ouvrages extérieurs du regroupement Ingerop, Acoustb, Douillet.

Le projet du rangement final prévoit les ouvrages suivants:

1. protection de la tranchée d'accès à l'entrée avec une paroi cloué en CCS d'épaisseur 15 cm avec réseau double
2. paroi cloué et remblai en terre renforcée pour la réalisation de la piste de chantier

4.1 Tranchée d'accès à l'entrée côté France

La cote de projet de la coupe d'entrée côté France est 1227.00 (portail NORD). La tranchée d'approche au portail traverse la formation des anhydrites fracturées du versant Nord.

La géométrie du talus est indiquée en figure 9 (document 6145.2-P-38).

Les paramètres suivants sont assumés pour les anhydrites fracturées:

- $\gamma=26 \text{ kN/m}^3$,
- $\varphi=35^\circ$ e
- $c=500 \text{ kPa}$

Les clouages ont été dimensionnés en utilisant le programme SNAILZ, avec les données d'input suivantes:

Caractéristiques géométriques du mur		
H	[m]	15
α	[°]	11
β_1	[°]	48
L_1	[m]	5.8
β_2	[°]	45
L_2	[m]	7.0
β_3	[°]	54
Caractéristiques des clouages		
n	-	10
L	[m]	7
δ	[°]	10
h_1	[m]	0.5
S_v	[m]	1.5
S_h	[m]	2.5
R	[kN]	300
f_y	[MPa]	420
D_1	[mm]	25
D_2	[mm]	100
Caractéristiques des terrains		
γ_1	[kN/m ³]	26
φ_1	[°]	35
c_1	[kPa]	500
q_1	[kPa]	100

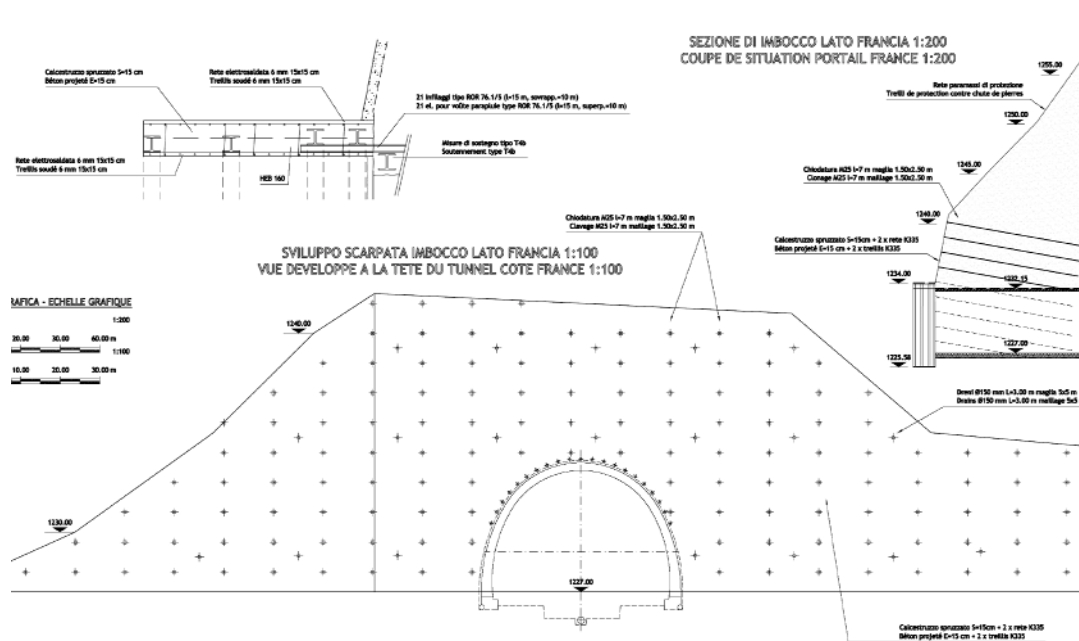


Figure 9 - Dimensions de la tranchée d'accès à l'entrée côté France (document 6145.2-P-38)

Les résultats du calcul sont reportés dans l'annexe 4.

En utilisant clous D=25 mm, de longueur 7 m, tricot 1.5mx2.5m et revêtement en béton épaisseur 15 cm avec réseau double, le coefficient de sûreté minimal est FS=6.0.

4.2 Paroi clouée et remblai en terre renforcée côté France

Pour réaliser la piste de chantier côté France, entre les coupes 1 et 4 indiquées en figure 10, il est prévu la construction d'un ouvrage de soutien provisoire en terre renforcée (figure 11).

La géométrie de l'ouvrage, dans la coupe de référence 1-1, est illustrée en figure 11. Pour garantir une largeur adéquate de la piste (>8 m) il est nécessaire de creuser le profil existant de la décharge dans la zone comprise entre l'accès au tunnel et la première berme. Les vérifications de stabilité du talus (coupe 1-1) avant et après le creusement sont reportées en annexe 5.

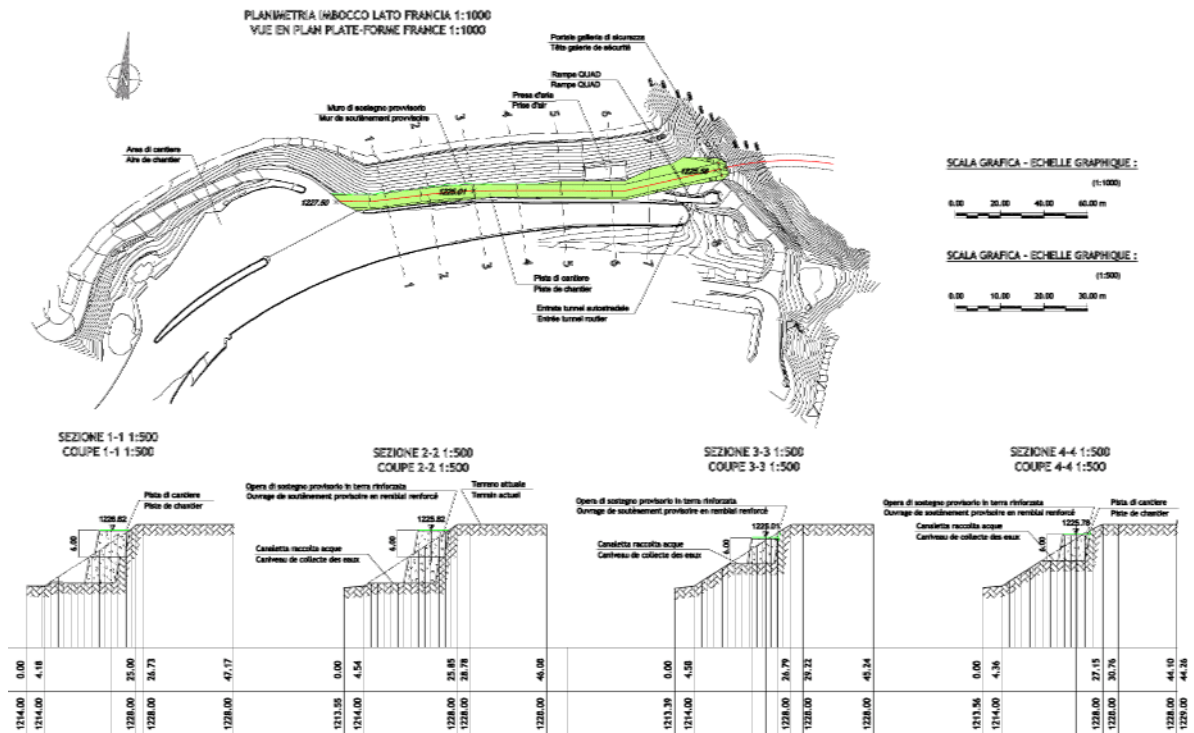


Figura 10 - Piste de chantier: plan et coupes (document 6145.2-P-35)

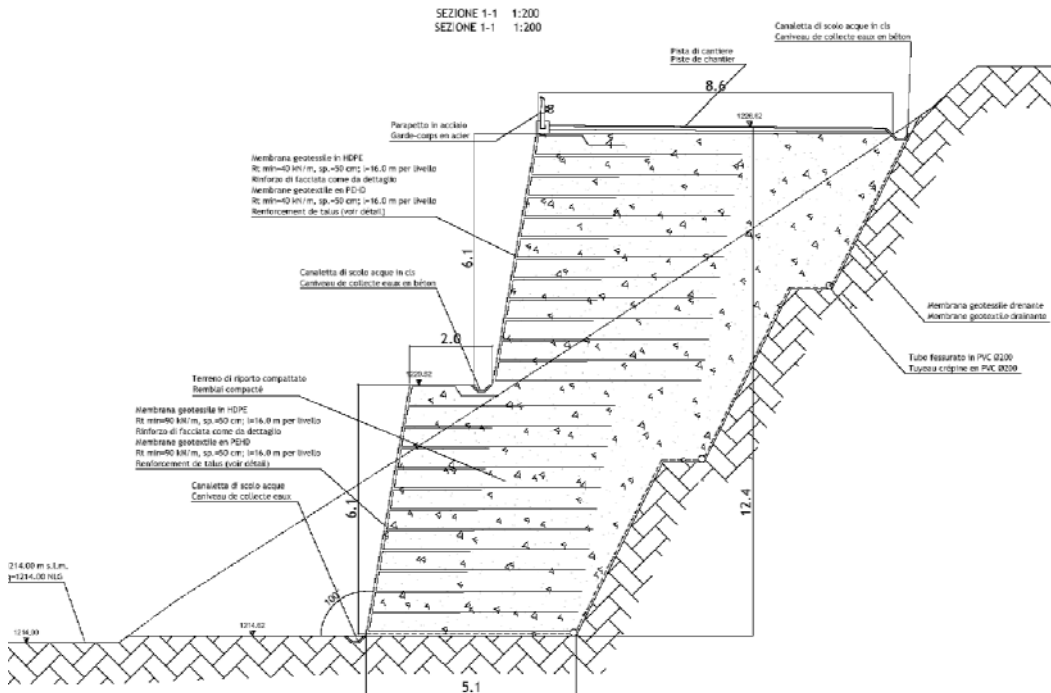


Figura 11 - Remblai en terre renforcée

Les résultats montrent que la valeur du coefficient de sûreté à la fin du creusement résulte plus petite que l'unité, et les conditions de stabilité du talus doivent être améliorées en construisant une paroi clouée.

Les clouages ont été dimensionnés en utilisant le programme SNAILZ, avec les données d'input suivantes:

Caractéristiques géométriques du mur		
H	[m]	12
α	[°]	10
β_1	[°]	30
L ₁	[m]	4.0
β_2	[°]	0
L ₂	[m]	6.0
β_3	[°]	0
Caractéristiques des clouages		
n	-	9
L	[m]	8
δ	[°]	10
h ₁	[m]	0.5
S _v	[m]	1.5
S _h	[m]	2.0
R	[kN]	500
f _y	[MPa]	520
D ₁	[mm]	28
D ₂	[mm]	150
Caractéristiques des terrains		
γ_1	[kN/m ³]	23
φ_1	[°]	33
c ₁	[kPa]	0
q ₁	[kPa]	100

Les résultats du calcul, reportés en annexe 6, fournissent un coefficient de sûreté minimal de 1.3, qui résulte être adéquat pour tranchées provisoires.

Le remblai en terre renforcée a été calculé en utilisant le programme GWS de l'ITALDRENI, avec les données géotechniques d'input suivantes:

terrain arrière le mur: $\gamma=23$ kN/m³, $\varphi=33^\circ$ et $c=0$ kN/m²
 terrain à l'amont: $\gamma=23$ kN/m³, $\varphi=33^\circ$ et $c=0$ kN/m²
 terrain à la base: $\gamma=23$ kN/m³, $\varphi=33^\circ$ et $c=0$ kN/m²
 surcharge routier: $q=20$ kPa

La structure résulte vérifiée à pacte d'utiliser:

- dans la zone inférieure: geomembrane en PEHD, contrainte admissible de 80 kN/m, espacement 50 cm et protections en treillis au bord de talus.

- dans la zone supérieure: geomembrane en PEHD, contrainte admissible de 55 kN/m, espacement 50 cm et protections en treillis au bord de talus.

Les résultats du calcul sont reportés en annexe 7.

Allegato 1

Annexe 1

Dimensionamento parete chiodata imbocco lato Italia
Dimensionnement paroi cloué tête italienne

Date: 09-08-2006

SnaiWin 3.10

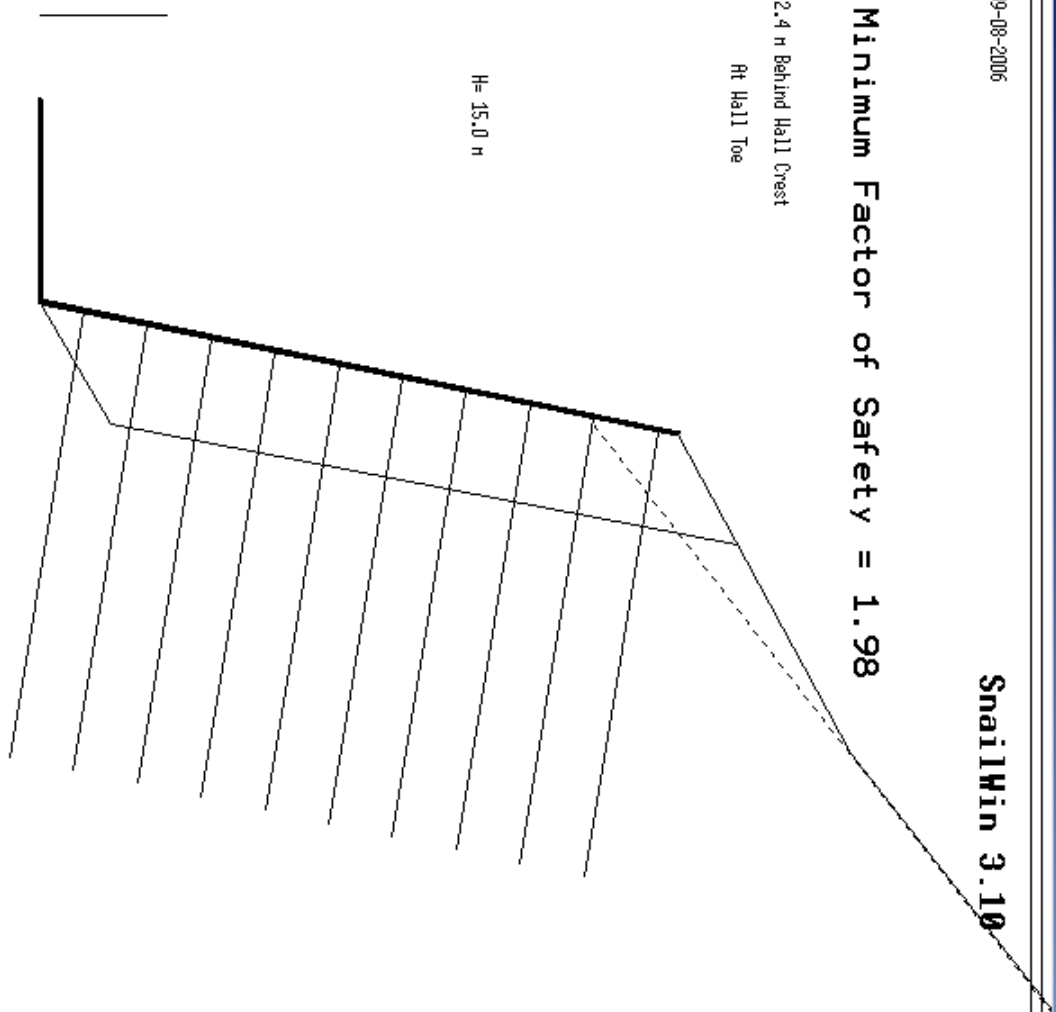
File: frejus

Minimum Factor of Safety = 1.98

2.4 m Behind Wall Crest

Rt Wall Toe

H = 15.0 m



Scale = 3 m

..... Soil Bound. (1)

LEGEND:

PS=	500.0	kN	
F _y =	520.0	MPa	
Sh=	2.0	m	
S _w =	1.5	m	
GRH	PHI	COH	STG
kN/m ³	deg	KPa	KPa
1	24.0	40	0.0 150.0
2	19.0	35	0.0 100.0

Date: 09-08-2006

SnaiWin 3.10

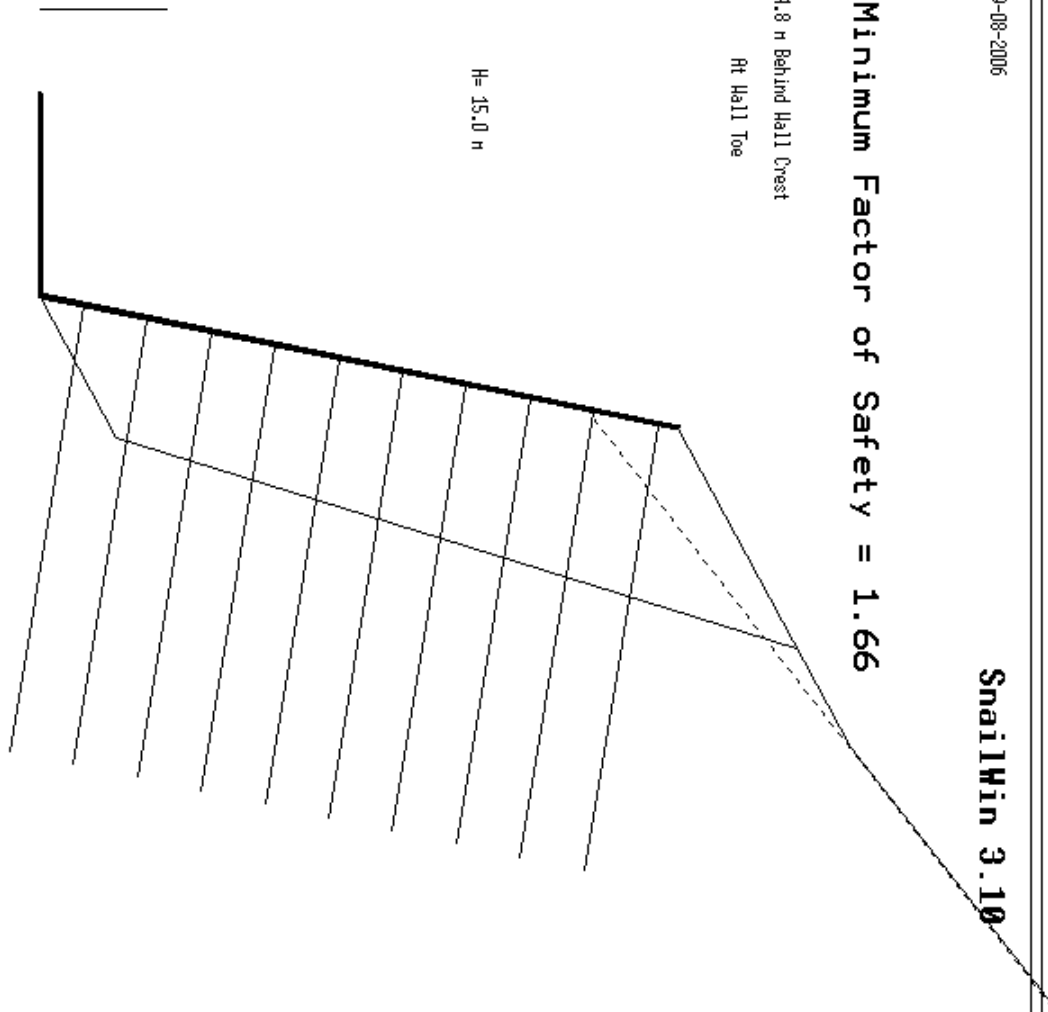
File: frejus

Minimum Factor of Safety = 1.66

4.8 m Behind Wall Crest

Rt Wall Toe

H = 15.0 m



Scale = 3 m

..... Soil Bound (1)

LEGEND:
Ps= 500.0 kN
Fv= 520.0 MPa
Sh= 2.0 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH STG
KN/H3 deg KPa KPa
1 24.0 40 0.0 150.0
2 19.0 35 0.0 100.0

Date: 09-08-2006

SnaiWin 3.10

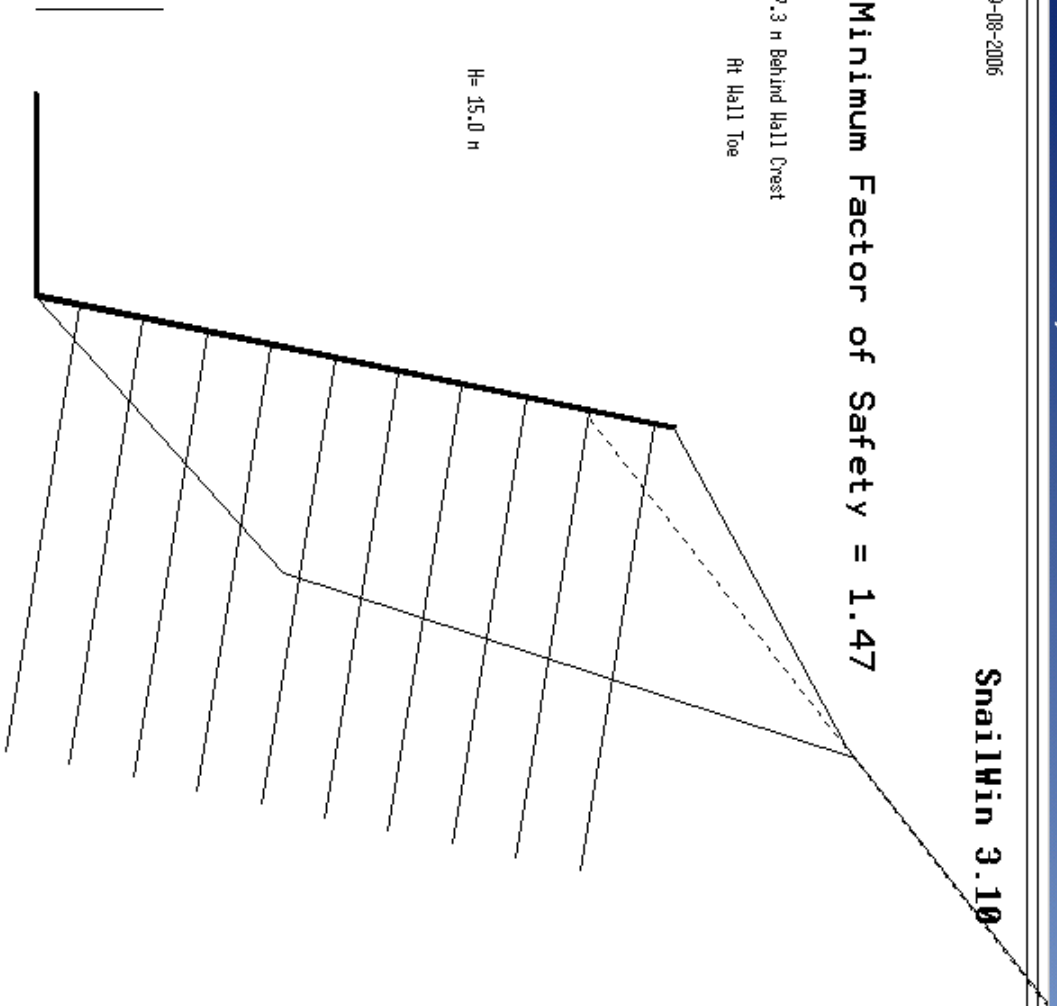
File: frejus

Minimum Factor of Safety = 1.47

7.3 m Behind Wall Crest

Rt Wall Toe

H = 15.0 m



Scale = 3 m

..... Soil Bound. (1)

LEGEND:

PS=	500.0	kN		
F _y =	520.0	MPa		
S _h =	2.0	m		
S _v =	1.5	m		
GRN	PHI	COH	STG	
1	24.0	40	0.0	150.0
2	19.0	35	0.0	100.0

Date: 09-08-2006

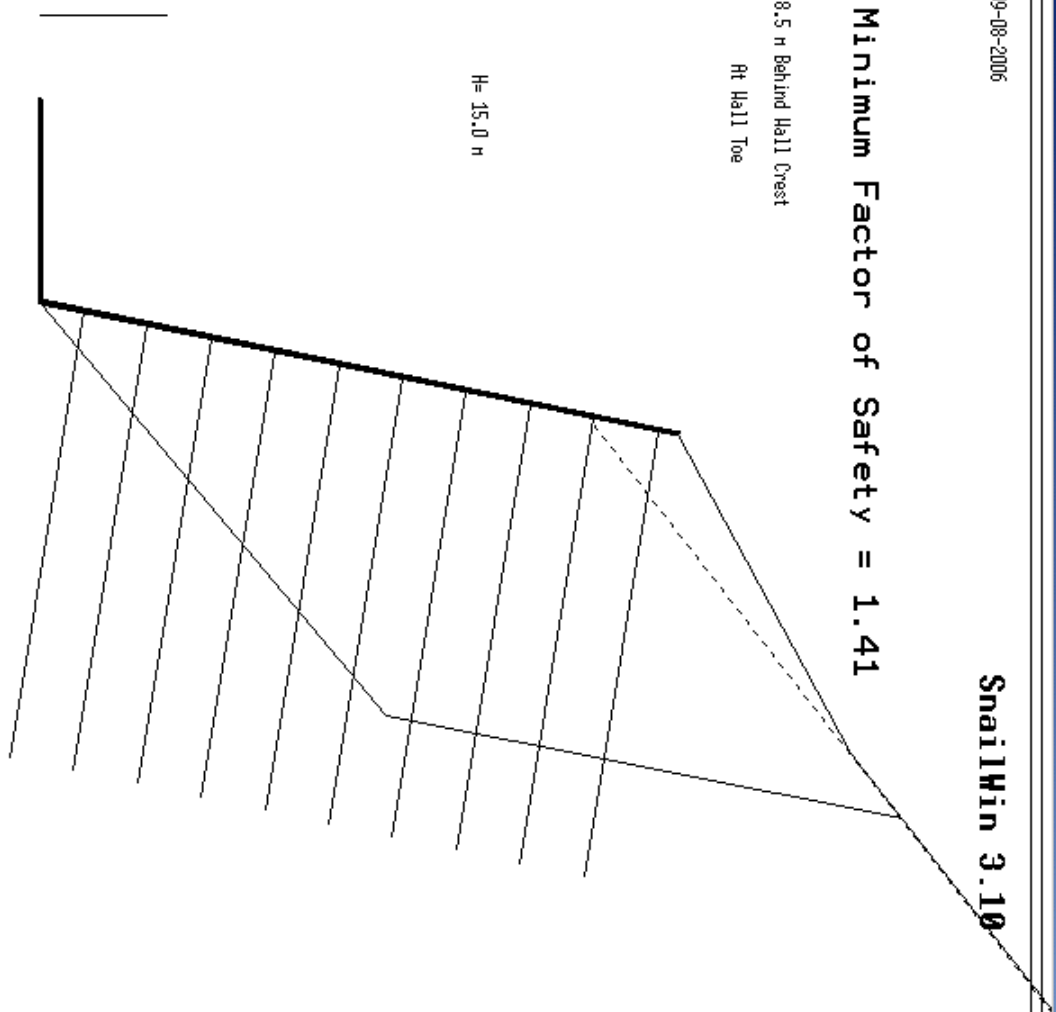
SnaiWin 3.10

File: frejus

Minimum Factor of Safety = 1.41

8.5 m Behind Wall Crest
At Wall Toe

H = 15.0 m



Scale = 3 m

..... Soil Bound. (1)

LEGEND:

	SRM	PHI	COH	STG
	KN/m3	deg	KPa	KPa
1	24.0	40	0.0	150.0
2	19.0	35	0.0	100.0

PS= 500.0 kN
FY= 520.0 MPa
SH= 2.0 m
SV= 1.5 m

Date: 09-08-2006

SnaiWin 3.10

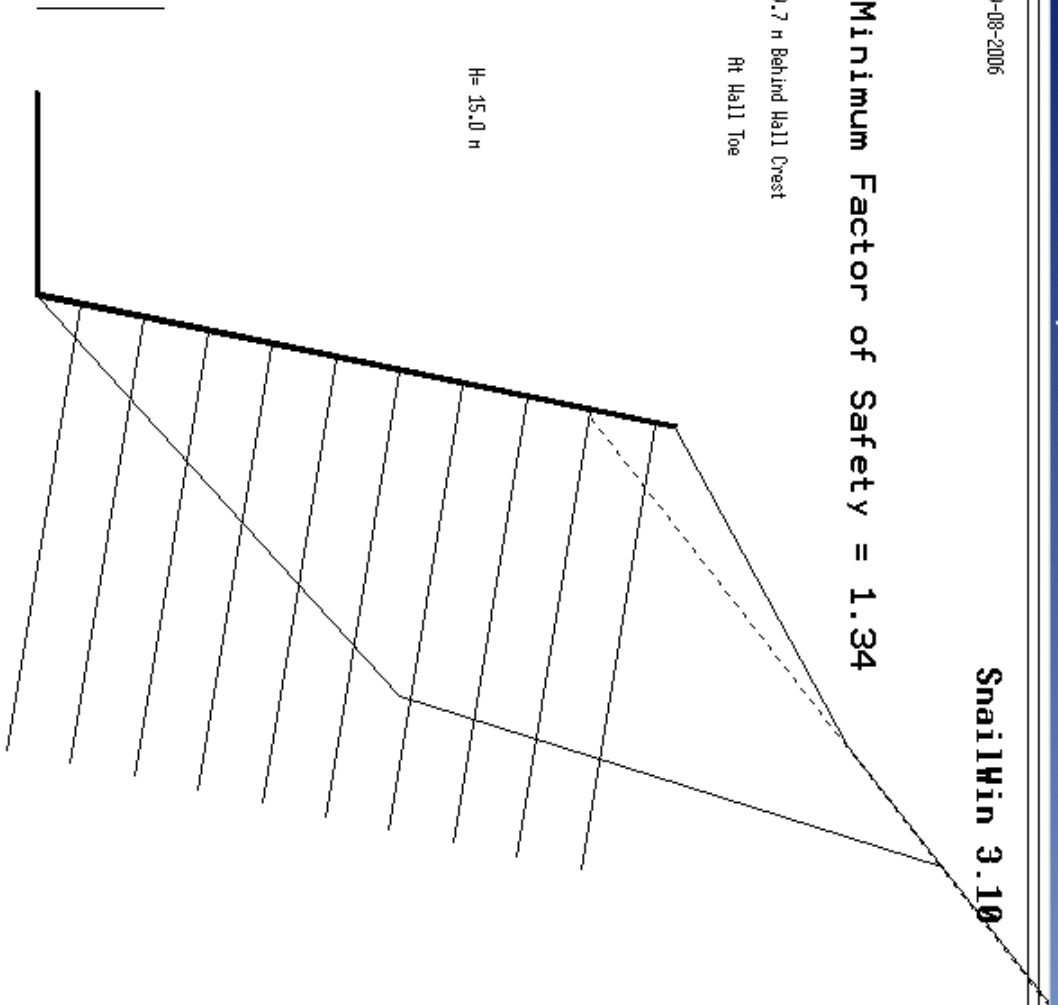
File: frejus

Minimum Factor of Safety = 1.34

9.7 m Behind Wall Crest

Rt Wall Toe

H = 15.0 m



Scale = 3 m

..... Soil Bound. (1)

LEGEND:

PS=	500.0	kN		
Fy=	520.0	MPa		
Sh=	2.0	m		
Sv=	1.5	m		
GRH	PHI	COH	STG	
1	24.0	40	0.0	150.0
2	19.0	35	0.0	100.0

KN/m3 deg KPa KPa

Date: 09-08-2006

SnaiWin 3.10

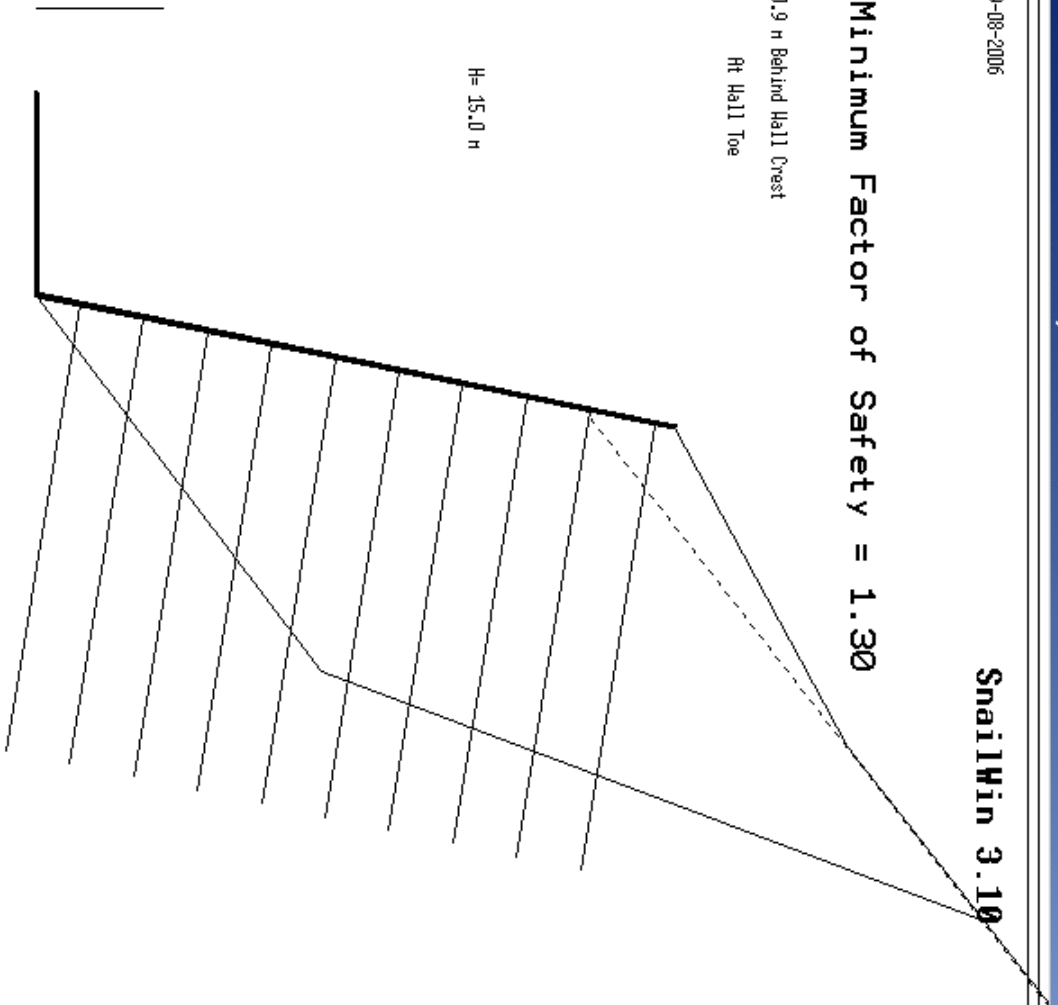
File: frejus

Minimum Factor of Safety = 1.30

10.9 m Behind Halli Crest

Ht Halli Toe

H = 15.0 m



Scale = 3 m

..... Soil Bound. (1)

LEGEND:

PS=	500.0	kN		
FV=	520.0	MPa		
Sh=	2.0	m		
Sv=	1.5	m		
GRN	PHI	COH	STG	
1	24.0	deg	KPa	KPa
2	19.0	35	0.0	100.0

Allegato 2

Annexe 2

Dimensionamento muro di sostegno imbocco lato Italia
Dimensionnement mur de soutènement tête italienne

Calcolo del muro di sostegno lato Italia

Il calcolo del muro di sostegno è stato effettuato considerando gli effetti sismici secondo la formula di Monobe - Okabe:

Ipotesi di calcolo c, φ, γ

La spinta totale di progetto: $E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma^* \cdot (1 \pm k_v) \cdot K_{AE} \cdot H^2$

K_{AE} coefficiente di spinta attiva del terreno (statico + dinamico)

H altezza del muro

γ^* peso dell'unità di volume del terreno

Azione sismica (formula di Monobe - Okabe)

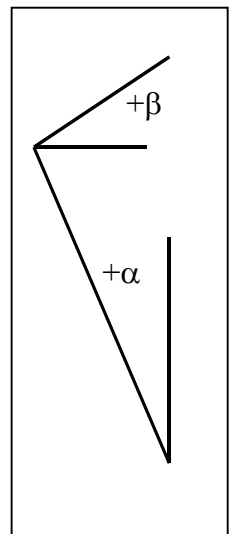
$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \Theta - \alpha)}{\cos \Theta \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \Theta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta - \Theta)}{\cos(\delta + \beta + \Theta) \cdot \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2}$$

φ valore di calcolo dell'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzo efficace

β angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno

α angolo di inclinazione rispetto al muro

δ valore di calcolo dell'angolo di resistenza a taglio terreno-muro

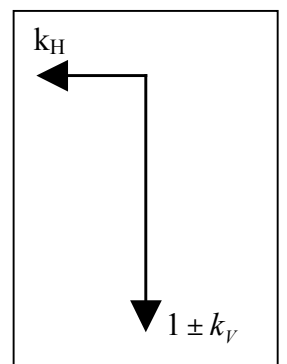


I coefficienti sismici orizzontale e verticale sono definiti come:

$$k_H = \frac{S \cdot a_g}{r} \quad \text{coefficiente sismico orizzontale}$$

$$k_V = 0.5 \cdot k_H \quad \text{coefficiente sismico verticale}$$

$$\Theta = \arctan \frac{k_H}{1 + k_V}$$

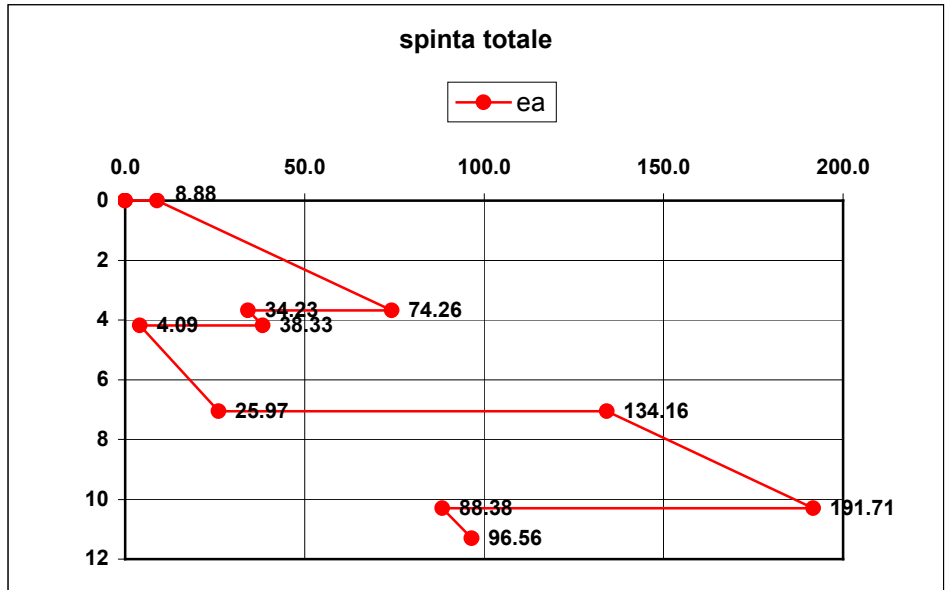
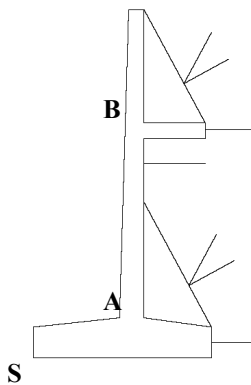


Parametri del terreno:

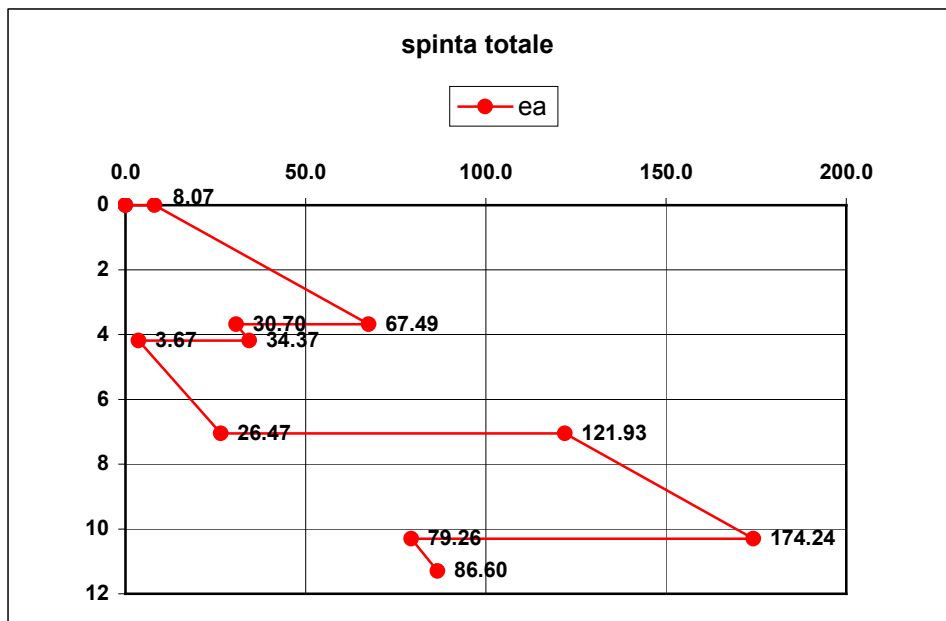
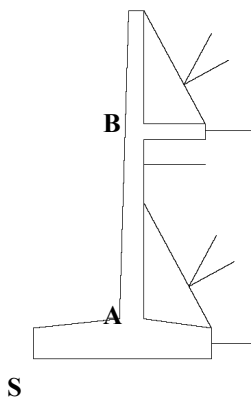
Le caratteristiche fisico-meccaniche del terreno valgono:

$c = 0 \text{ kN/m}^2$ $\varphi = 33^\circ$ $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Accelerazione sismica: per $k_H = 0.15.g$ e $k_V = 0.075.g$ (senza coesione c)



Accelerazione sismica: per $k_H = 0.15.g$ e $k_V = -0.075.g$ (senza coesione c)



Risultati:

per $k_H = 0.15.g$ $k_V = 0.075.g$ (senza coesione c)

Punto S:

$$\Sigma H = 479 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 1139 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_S = 2752 \text{ kNm}$$

Punto A:

$$\Sigma H = 342 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 753 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_A = 854 \text{ kNm}$$

Punto A:

$$\Sigma H = 73 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 269 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_A = 163 \text{ kNm}$$

per $k_H = 0.15.g$ $k_V = -0.075.g$ (senza coesione c)

Punto S:

$$\Sigma H = 438 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 1009 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_S = 2362 \text{ kNm}$$

Punto A:

$$\Sigma H = 317 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 671 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_A = 825 \text{ kNm}$$

Punto A:

$$\Sigma H = 66 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 238 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_A = 142 \text{ kNm}$$

Verifiche: per $k_H = 0.15.g$ e $k_V = 0.075.g$

Verifica alla traslazione

$$\frac{\sum V \cdot \tan \varphi}{\sum H} \geq 1.3 \quad \Rightarrow \quad \frac{740}{479} = 1.54 \geq 1.3$$

Verifica al ribaltamento

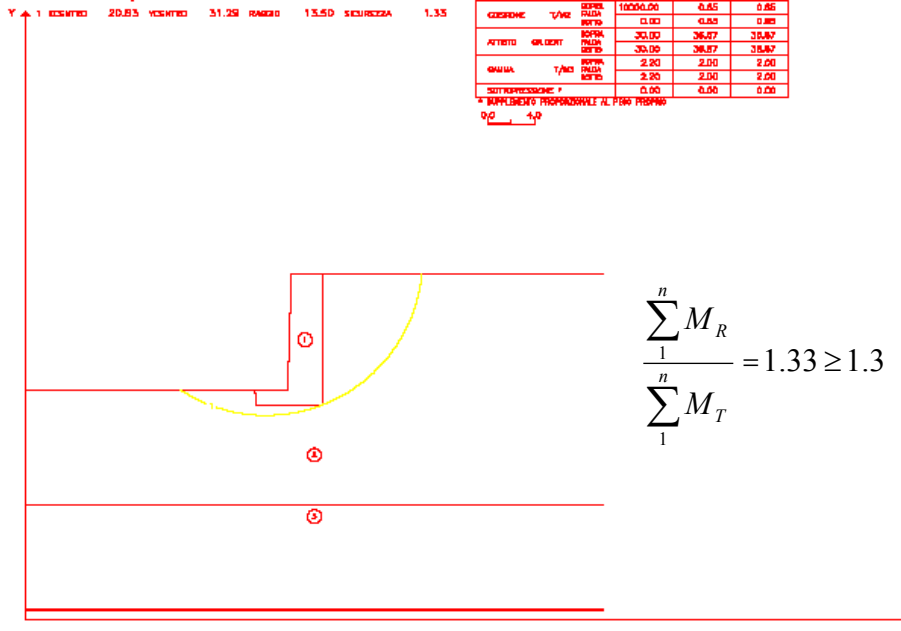
$$\frac{M_{SR}}{M_{SE}} \geq 1.5 \quad \Rightarrow \quad \frac{4764}{2012} = 2.37 \geq 1.5$$

Verifica a carico limite della fondazione

$$\frac{R}{N} \geq 2.0 \quad \Rightarrow \quad \frac{2582}{1139} = 2.27 \geq 2$$

Verifica di stabilità globale (con programma stabilità pendii della Lombardi - calcolo con coesione c=8.50 kPa)

Metodo dell'equilibrio limite di BISHOP



Verifica: per $k_H = 0.15$ e $k_V = -0.075$

Verifica alla traslazione

$$\frac{\sum V \cdot \tan \varphi}{\sum H} \geq 1.3 \quad \Rightarrow \quad \frac{655}{438} = 1.50 \geq 1.3$$

Verifica al ribaltamento

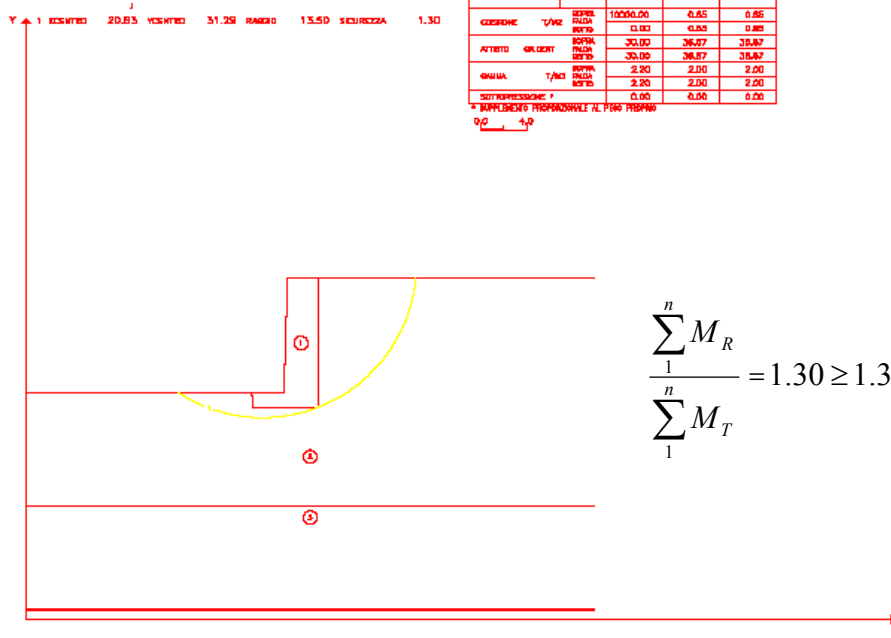
$$\frac{M_{SR}}{M_{SE}} \geq 1.5 \quad \Rightarrow \quad \frac{4237}{1875} = 2.26 \geq 1.5$$

Verifica a carico limite della fondazione

$$\frac{R}{N} \geq 2.0 \quad \Rightarrow \quad \frac{2312}{1009} = 2.29 \geq 2$$

Verifica stabilità globale (con programma stabilità pendii della Lombardi - calcolo con coesione c=8.5 kPa)

Metodo dell'equilibrio limite di BISHOP



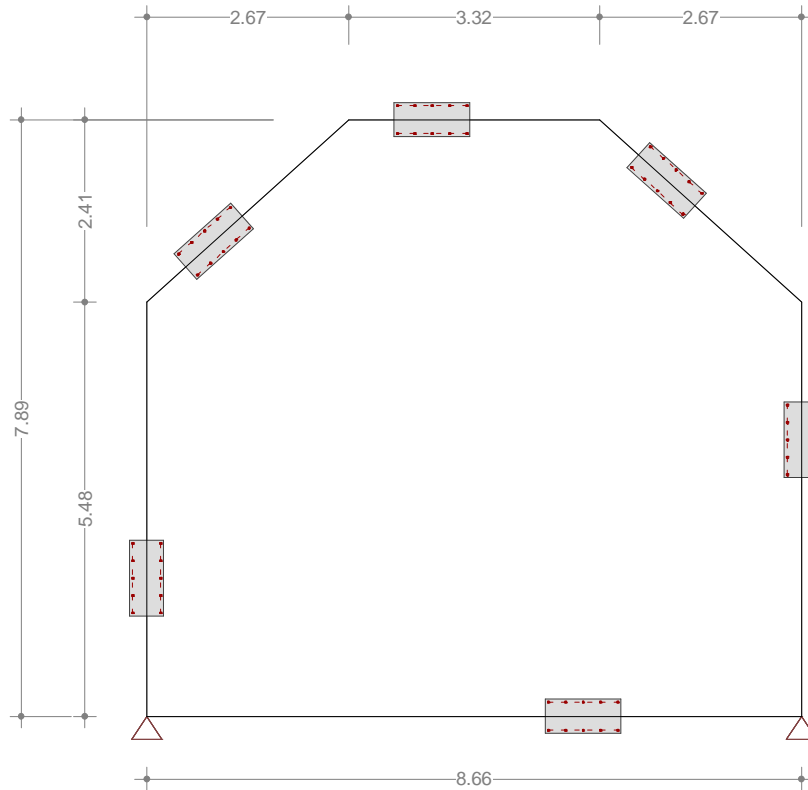
Allegato 3

Annexe 3

Dimensionamento galleria artificiale lato Italia
Dimensionnement tranchée couverte tête italienne

Structure

Echelle 1 :100.0



STRUCTURE 2D

DONNÉES DES NOEUDS

Id	Coordonnées		DX [kN/m]	Appuis DZ [kN/m]	RZ [kNm]	Spécial
	X [m]	Z [m]				
K_1	-4.33	0	B	B		
K_2	4.33	0	B	B		
!1	-4.33	5.48				
!2	4.33	5.48				
!3	-1.66	7.89				
!4	1.66	7.89				

B : Bloqué

DONNÉES DE LA STRUCTURE

Id	Noeuds		Section Nom>Variante	Longueur [m]	Status	Remarques
	Début	Fin				
S_1	K_1	!1	sezione	5.48		
S_2	!1	!3	sezione	3.60		
S_3	K_2	K_1	sezione	8.66		
S_4	!3	!4	sezione	3.32		
S_5	!4	!2	sezione	3.60		
S_6	!2	K_2	sezione	5.48		

Sections: Géométrie

Nom	Variante	Matériaux	Type	Dimensions [m]
sezione		1,2	G-R	b=1.00, h=0.45, u1=0.04, u2=0.04

Matériaux : cf. Table 'Matériaux'

Nr.:

Sections: Valeurs section

Nom	Variante	β [°]	$E A_x$ $G A_z$ [kN]	$E J_y$ [kNm ²]	e_z [m]	Masse Sct Masse suppl. [t/m]	Matériaux
sezione		0	14399999.62 5129979.62	243000.00	0	1.12	1, 2

β : Angle entre axe Y de la barre et 1er axe principal de la section

e_z : Distance centre de gravité - point d'axes

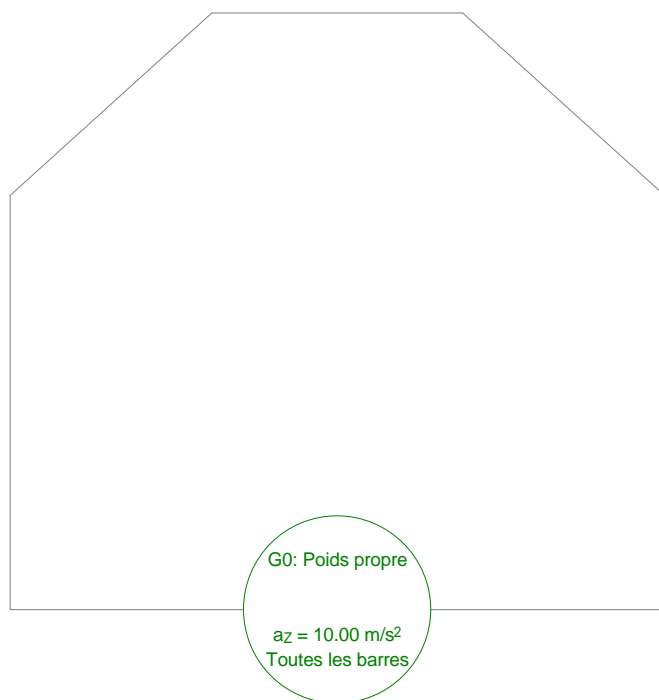
Matériaux : cf. Table 'Matériaux'

Matériaux

Id	Matériau	E [kN/mm ²]	G [kN/mm ²]	ρ [t/m ³]	Classe de matériau	α [%]	ν
1	Béton	32	14	2.5	C30/37	0.010	0.17
2	Acier arm.	200	77	8.0	S420	0.012	0.30

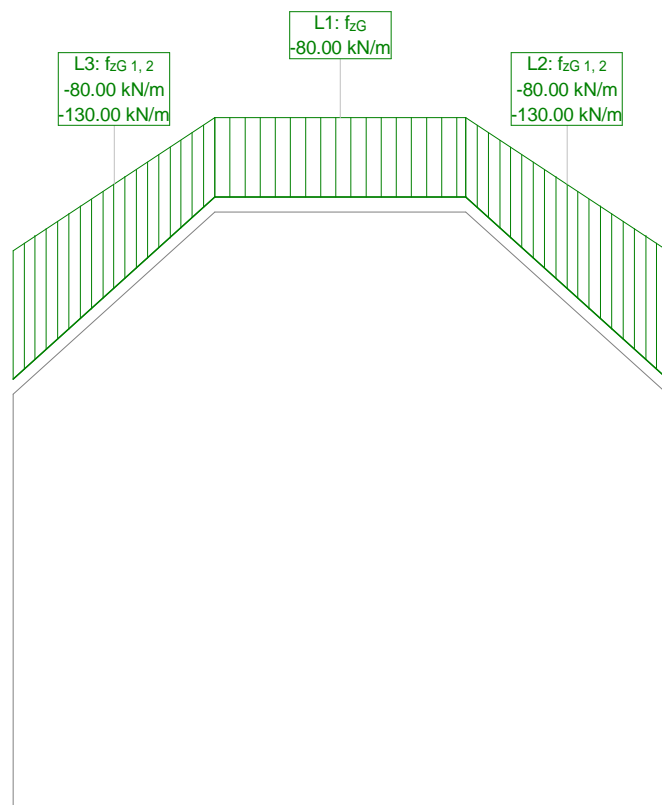
Chargement PP: Poids propre

Echelle 1:100.0



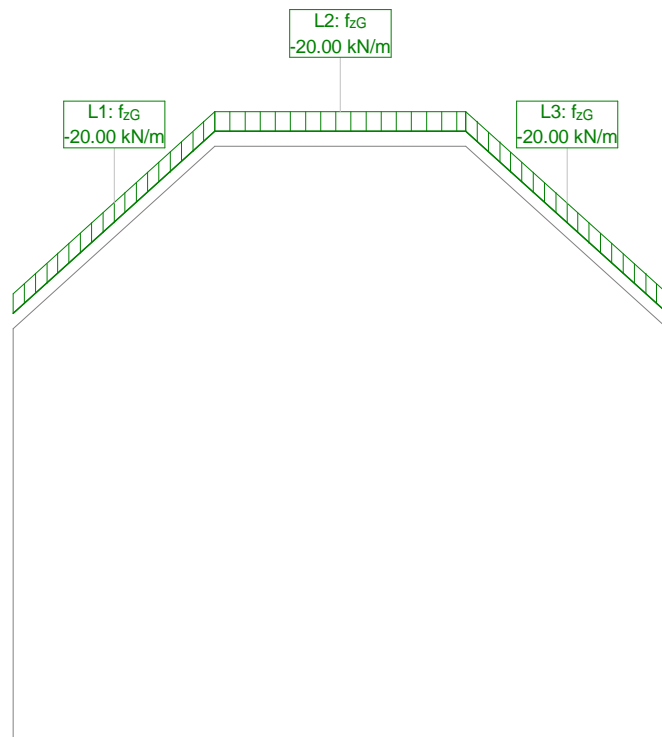
Chargement B2: terreno ricoprimento

Echelle 1 :100.0



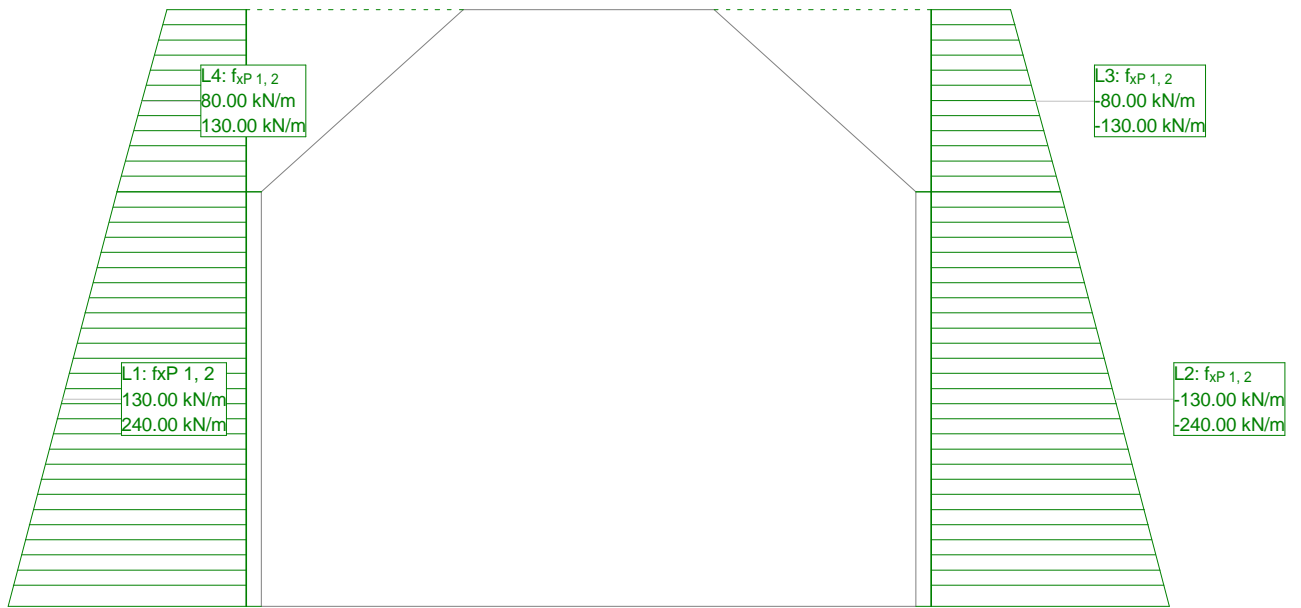
Chargement B3: sovraccarico stradale

Echelle 1 :100.0



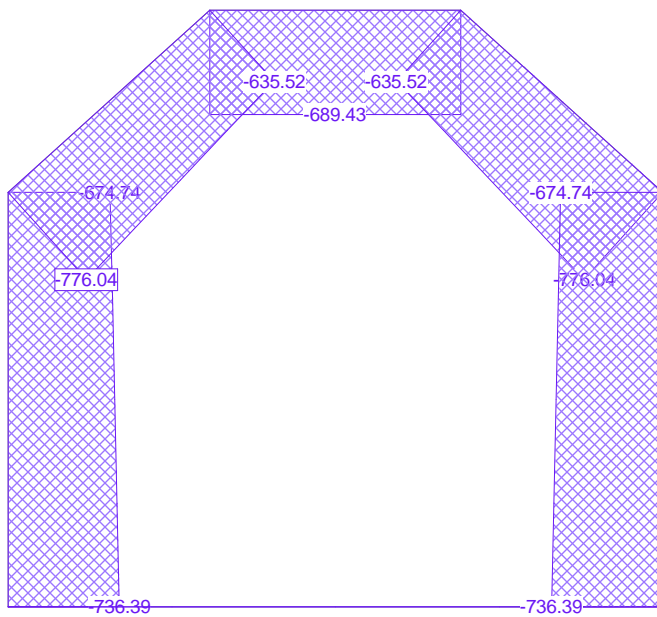
Chargement B4: spinta orizzontale

Echelle 1 :100.0



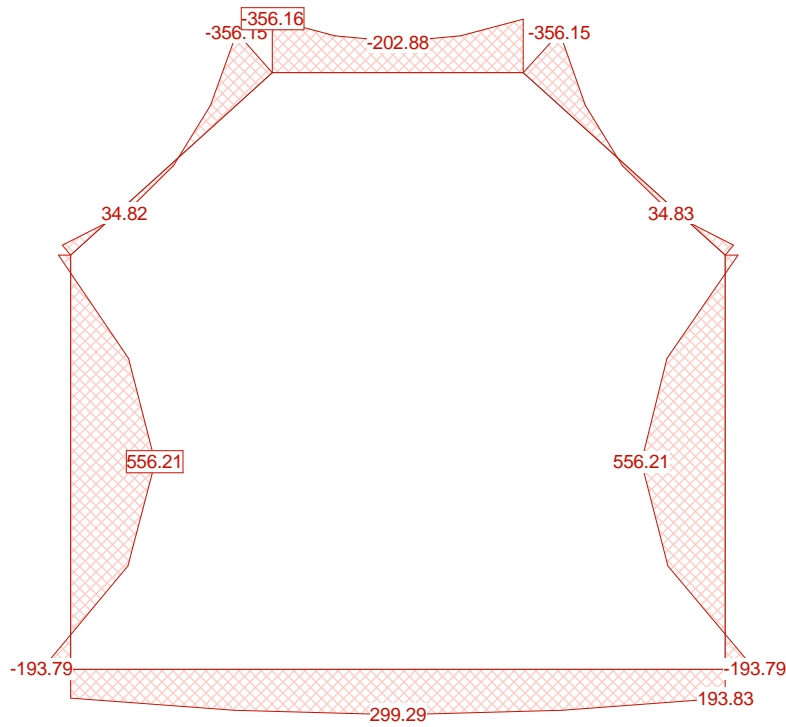
Effort intérieur N [kN] pour: globale

Echelle 1 :100.0



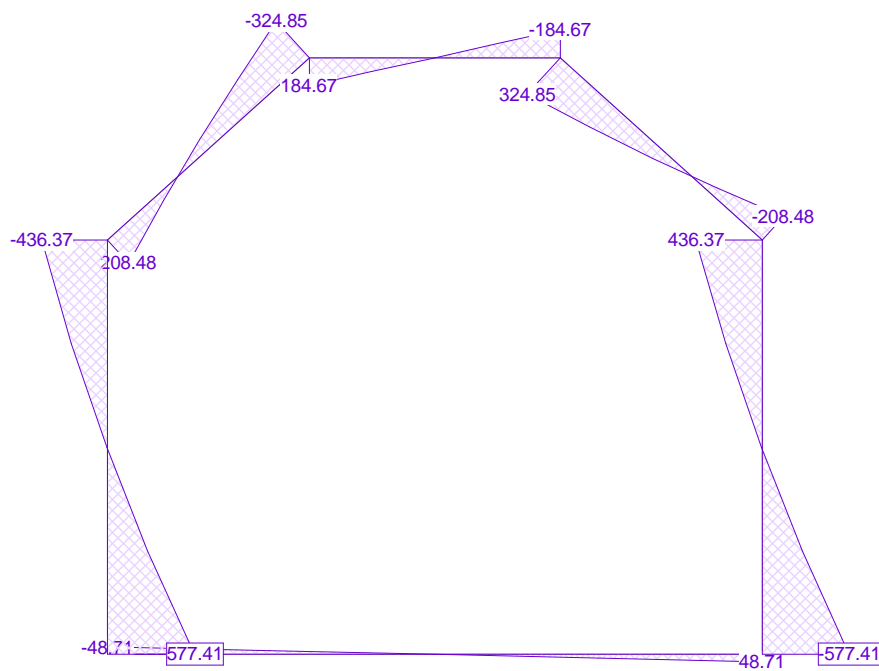
Effort intérieur My [kNm] pour: globale

Echelle 1 :100.0



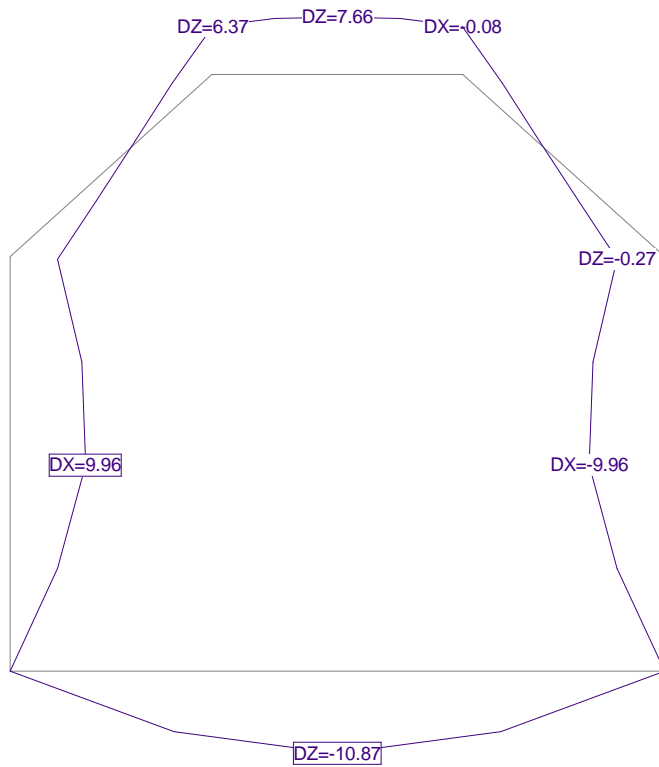
Effort intérieur Vz [kN] pour: globale

Echelle 1 :100.0



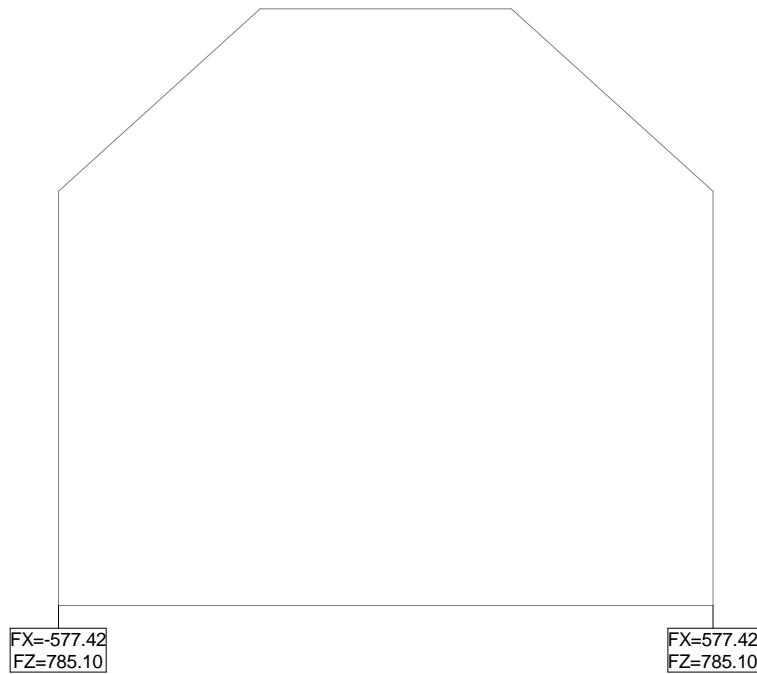
DEPLACEMENTS [mm] pour: globale, Amplification: 100.0

Echelle 1 :100.0



Réactions [kN]/[kNm] pour: globale, Somme FX: 0.00, Somme FZ: 1570.20

Echelle 1 :100.0



EFFORTS INTÉRIEURS

pour: globale

Barre	Elém	Distance [m]	Nx [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S_1	1	0.00	-736.39	577.41	-193.79
		1.37	-720.98	267.46	380.61
		2.74	-705.56	-4.83	556.21
		4.11	-690.15	-239.44	384.59
		5.48	-674.74	-436.37	-82.64
S_2	1	0.00	-776.04	208.48	-82.66
		0.90	-738.00	55.06	34.82
		1.80	-701.90	-84.96	20.38
		2.70	-667.74	-211.60	-113.96
		3.60	-635.52	-324.85	-356.15
S_3	1	0.00	-0.00	48.71	193.83
		2.16	-0.00	24.36	272.92
		4.33	-0.00	0.00	299.29
		6.49	-0.00	-24.36	272.92
		8.66	-0.00	-48.71	193.83
S_4	1	0.00	-689.43	184.67	-356.16
		0.83	-689.43	92.34	-241.21
		1.66	-689.43	0.00	-202.88
		2.49	-689.43	-92.33	-241.20
		3.32	-689.43	-184.67	-356.16
S_5	1	0.00	-635.52	324.85	-356.15
		0.90	-667.74	211.61	-113.97
		1.80	-701.90	84.97	20.38
		2.70	-738.00	-55.06	34.83
		3.60	-776.04	-208.48	-82.66
S_6	1	0.00	-674.74	436.37	-82.64
		1.37	-690.15	239.45	384.58
		2.74	-705.56	4.84	556.21
		4.11	-720.98	-267.45	380.62
		5.48	-736.39	-577.41	-193.79

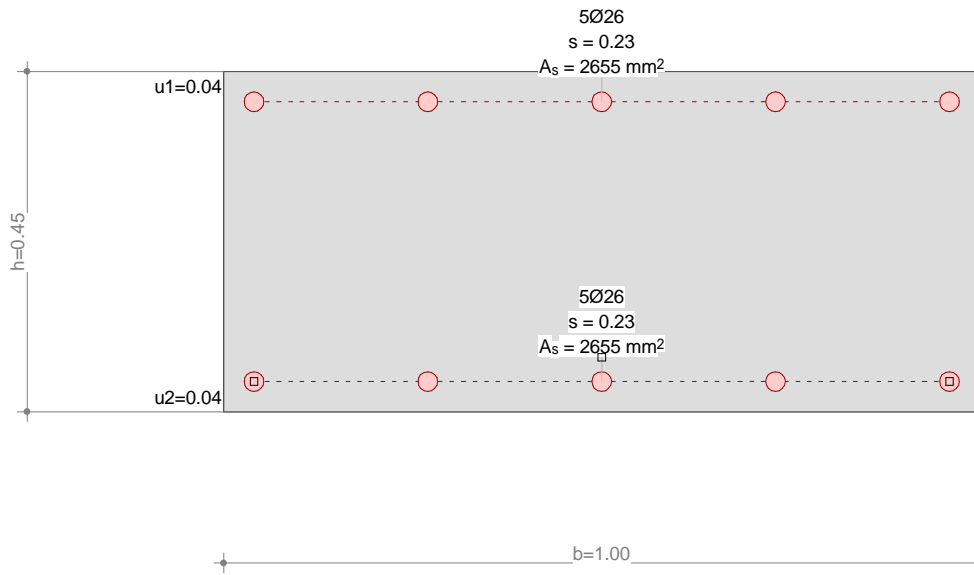
DEPLACEMENTS

pour: globale

Barre	Elém	Distance [m]	Dx [mm]	Dz [mm]	Ry [rad*1000]
S_1	1	0.00	0.00	-0.00	4.71
		1.37	6.32	-0.07	3.98
		2.74	9.96	-0.14	1.16
		4.11	9.52	-0.20	-1.64
		5.48	6.30	-0.27	-2.62
S_2	1	0.00	6.30	-0.27	-2.62
		0.90	4.73	1.41	-2.57
		1.80	3.10	3.14	-2.71
		2.70	1.45	4.91	-2.57
		3.60	0.08	6.37	-1.74
S_3	1	0.00	-0.00	-0.00	-4.71
		2.17	-0.00	-8.02	-2.59
		4.33	-0.00	-10.87	-0.00
		6.49	0.00	-8.02	2.59
		8.66	0.00	-0.00	4.71
S_4	1	0.00	0.08	6.37	-1.73
		0.83	0.04	7.36	-0.74
		1.66	0.00	7.66	-0.00
		2.49	-0.04	7.36	0.74
		3.32	-0.08	6.37	1.73
S_5	1	0.00	-0.08	6.37	1.74
		0.90	-1.45	4.91	2.57
		1.80	-3.10	3.14	2.71
		2.70	-4.73	1.41	2.57
		3.60	-6.30	-0.27	2.62
S_6	1	0.00	-6.30	-0.27	2.62
		1.37	-9.52	-0.20	1.64
		2.74	-9.96	-0.14	-1.16
		4.11	-6.32	-0.07	-3.98
		5.48	-0.00	-0.00	-4.71

Cross-section Sezione: Outline, Reinforcements, without shear walls

Scale 1 :10.0



girder-cross section: SEZIONE

Geometrical definition of cross section

Name	Material	Class	Type	No.	Y_q [m]	Z_q [m]	No.	Y_q [m]	Z_q [m]
RQS	Concrete	C30/37	Polygon	1	-0.50	-0.23	2	0.50	-0.23
				3	0.50	0.23	4	-0.50	0.23

Section properties of cross section: (without contribution of reinforcement, Reference material: Concrete, $E_{ref} = 32$ [kN/mm²])

	Area [m ²]	Moments of inertia [m ⁴]		C.G., Angle [m]	
A_x	0.4500	I_x	0.021793	y_s	-0.00
A_y	0.3750	I_y	0.007594	z_s	0
A_z	0.3750	I_z	0.037500	β	0 [°]

Mass: Details of CS elements

CS element	A_{xi+} [m ²]	minus	A_{xi-} [m ²]	A_{xi} [m ²]	γ_i [t/m ³]	M_i [kg/m]
RQS	0.4500			0.4500	2.5	1125.0

Longitudinal reinforcement girder-cross section: SEZIONE

Mild reinforcement GO $\Sigma A_s = 5309$ mm², $\rho = 1.2$ %

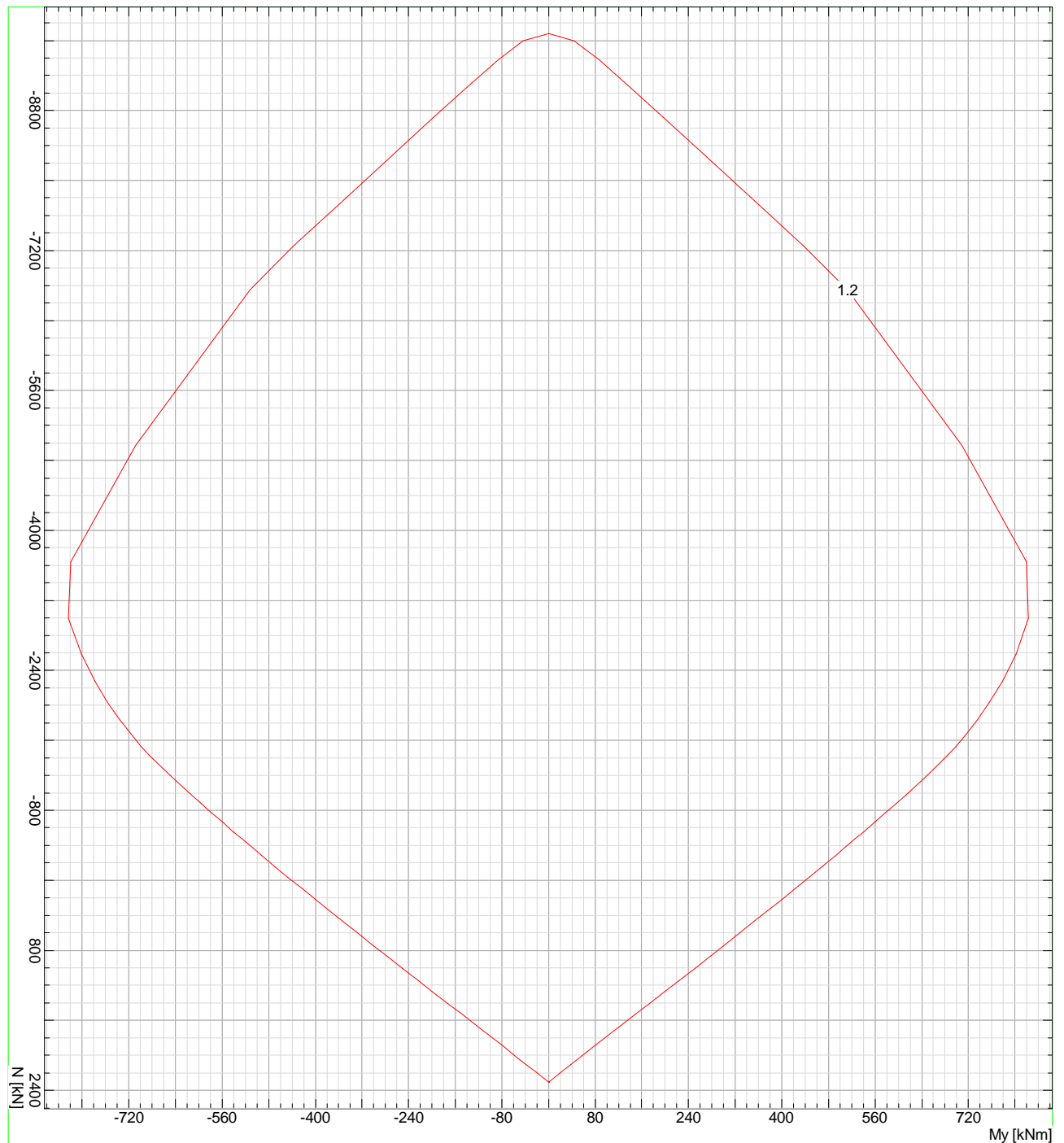
Name	Material	Class	BC	Type	Y_{1q} [m]	Z_{1q} [m]	Y_{2q} [m]	Z_{2q} [m]	A_s [mm ²]
TOP	Reinf. steel	S500	2	PL	-0.46	0.18	0.46	0.18	5Ø26=2655
BOTTOM				PL	-0.46	-0.18	0.46	-0.18	5Ø26=2655

BC : BC: 0=constant area, 1=adapt always, 2=adapt area in tension zone
 Type : Definition of reinforcement: P = Point, L= Line, R = Ring

Nr.:

M-N-Interaction diagram girder-cross section: SEZIONE

Reinforcement percentage: $\rho = 1.2$ o/o



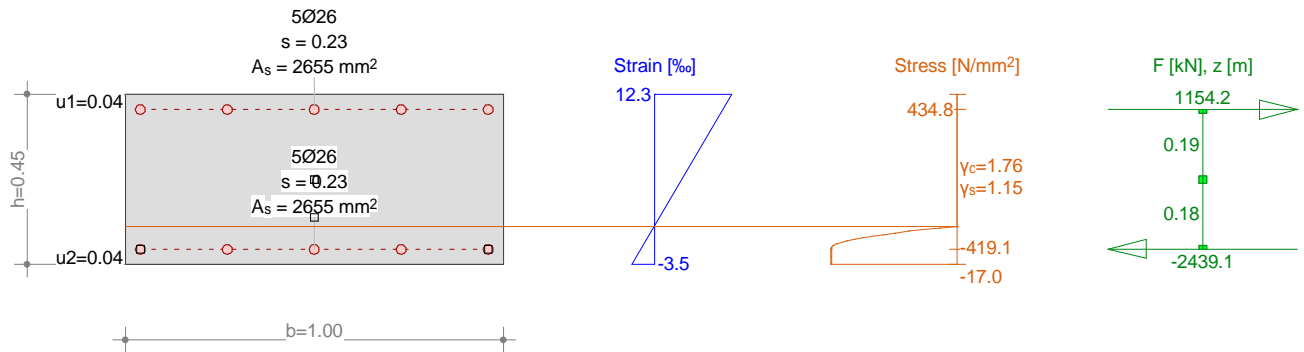
Analysis-Parameters "AP2: ULS-verification", Code: Eurocode ENV/EN

ID	σ - ϵ -Diagram				Strain Limits			Adm.Stress	Resistance factors				Various parameters			
	c	s	p	a	$\epsilon_{cu,c}$ [‰]	$\epsilon_{cu,b}$ [‰]	ϵ_{su} [‰]	$\sigma_{s,adm}$ [N/mm ²]	γ_c [-]	γ_s [-]	γ_p [-]	γ_a [-]	α [-]	ϕ [-]	P(t) [-]	κ
AP2	2/0	1	1	1	-2.0	-3.5	20.0		1.50	1.15	1.15	1.15	45.00	0	t=0	-

Nr.:

Cross-section Sezione: Bearing capacity $N_x=-690.0$; $M_y=-356.0$; Bearing capacity: 1.86

Scale 1 :20.0 (-0.82,-0.46..2.58,0.46)



Cross-section Sezione: Bearing capacity $N_x=-690.0$; $M_y=-356.0$; Bearing capacity: 1.86

(2.58,-0.46..2.60,0.46)

Ultimate strength analysis girder-cross section: SEZIONE

Action forces and capacity factor

No.	Analysis-Parameters	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Capacity factor [-]	Remarks
1	AP2: ULS-verification	-690.0	-356.0	0	1.86	

Analysis-Parameters "AP2: ULS-verification", Code: Eurocode ENV/EN

ID	σ - ϵ -Diagram				Strain Limits			Adm.Stress $\sigma_{s,adm}$ [N/mm²]	Resistance factors				Various parameters			
	c	s	p	a	$\epsilon_{cu,c}$ [‰]	$\epsilon_{cu,b}$ [‰]	ϵ_{su} [‰]		γ_c [-]	γ_s [-]	γ_p [-]	γ_a [-]	α [-]	ϕ [-]	P(t) [-]	κ
AP2	2/0	1	1	1	-2.0	-3.5	20.0		1.50	1.15	1.15	1.15	45.00	0	$t=0$	-

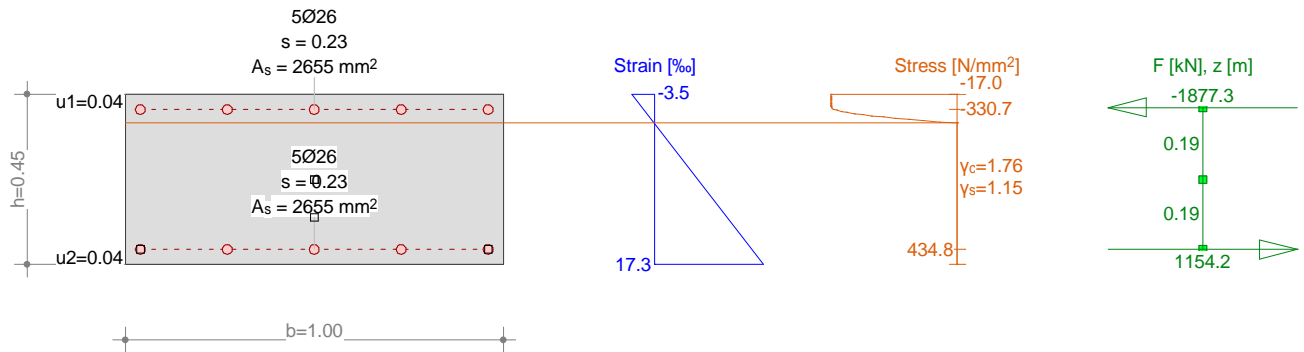
- α : Inclination of diagonal in compression
- ϕ : Creep coefficient
- P(t) : STATIK-5 analysis; Initial value of PT force: $P=P(t=0)$ or $P=P(t=\infty)$ 'with longterm-losses'
- κ : + = Analysis with bond coefficient: $\kappa_s=0.7$ $\kappa_l=0.9$

Extreme stresses and strain

Name	Class	y_q [m]	z_q [m]	ϵ [‰]	σ_d [N/mm²]	γ [-]
RQS	C30/37	-0.50	-0.23	-3.5	-17.0	1.76
RQS	C30/37	0.50	0.23	12.3	0	1.76
BOTTOM	S500	-0.46	-0.18	-2.1	-419.1	1.15
TOP	S500	-0.46	0.18	10.9	434.8	1.15

Cross-section Sezione: Bearing capacity $N_x=-705.6; M_y=556.0$; Bearing capacity: 1.02

Scale 1 :20.0 (-0.82,-0.46..2.58,0.46)



Cross-section Sezione: Bearing capacity $N_x=-705.6; M_y=556.0$; Bearing capacity: 1.02

(2.58,-0.46..2.60,0.46)

Ultimate strength analysis girder-cross section: SEZIONE

Action forces and capacity factor

No.	Analysis-Parameters	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Capacity factor [-]	Remarks
1	AP2: ULS-verification	-705.6	556.0	0	1.02	

Analysis-Parameters "AP2: ULS-verification", Code: Eurocode ENV/EN

ID	σ - ϵ -Diagram				Strain Limits			Adm.Stress $\sigma_{s,adm}$ [N/mm²]	Resistance factors				Various parameters			
	c	s	p	a	$\epsilon_{cu,c}$ [‰]	$\epsilon_{cu,b}$ [‰]	ϵ_{su} [‰]		γ_c [-]	γ_s [-]	γ_p [-]	γ_a [-]	α [-]	ϕ [-]	P(t) [-]	κ
AP2	2/0	1	1	1	-2.0	-3.5	20.0		1.50	1.15	1.15	1.15	45.00	0	t=0	-

- α : Inclination of diagonal in compression
- ϕ : Creep coefficient
- P(t) : STATIK-5 analysis; Initial value of PT force: $P=P(t=0)$ or $P=P(t=\infty)$ 'with longterm-losses'
- κ : + = Analysis with bond coefficient: $\kappa_s=0.7$ $\kappa_l=0.9$

Extreme stresses and strain

Name	Class	y_q [m]	z_q [m]	ϵ [‰]	σ_d [N/mm²]	γ [-]
RQS	C30/37	0.50	0.23	-3.5	-17.0	1.76
RQS	C30/37	-0.50	-0.23	17.3	0	1.76
TOP	S500	-0.46	0.18	-1.7	-330.7	1.15
BOTTOM	S500	-0.46	-0.18	15.4	434.8	1.15

Design girder-cross section: SEZIONE

Action forces

No.	Analysis-Parameters	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	Remarks
1	AP2: ULS-verification	-736.0	-193.0	0	

Analysis-Parameters "AP2: ULS-verification", Code: Eurocode ENV/EN

ID	σ-ε-Diagram				Strain Limits			Adm.Stress σ _{s,adm} [N/mm ²]	Resistance factors				Various parameters			
	c	s	p	a	ε _{cu,c} [‰]	ε _{cu,b} [‰]	ε _{su} [‰]		γ _c [-]	γ _s [-]	γ _p [-]	γ _a [-]	α [-]	φ [-]	P(t) [-]	κ
AP2	2/0	1	1	1	-2.0	-3.5	20.0		1.50	1.15	1.15	1.15	45.00	0	t=0	-

- α : Inclination of diagonal in compression
- φ : Creep coefficient
- P(t) : STATIK-5 analysis; Initial value of PT force: P=P(t=0) or P=P(t=∞) 'with longterm-losses'
- κ : + = Analysis with bond coefficient: κ_s=0.7 κ_f=0.9

Longitudinal reinforcement

No.	Name	y _{1q} [m]	z _{1q} [m]	y _{2q} [m]	z _{2q} [m]	A _{s-given} [mm ²]	A _{s-designed} [mm ²]	A _s [mm ²]
1	TOP	-0.46	0.18	0.46	0.18	100	277	5φ8.395=277
	BOTTOM	-0.46	-0.18	0.46	-0.18	100	----	5φ5.0463=100
x _{max} /d = 0.15						Σ A _s = 0.08 %		377

Action forces for shear design

No.	Analysis-Parameters	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	Remarks
1	AP2: ULS-verification	0	577.0	0	

Stirrup area (statical requirements only)

No.	Name	Type	V _d [kN]	b _w [m]	z [m]	τ _d [N/mm ²]	A _{sl/2} [mm ²]	A _{sw} /s _w [mm ² /m]
1	SWZ	Vz	577.0	1.00	0.37	1.6	664	3587

- V_d : Shear wall forces (Force / Torsion)
- b_w : Eff. width of shear wall
- z : Internal lever arm (Height of shear wall)
- A_{sl/2} : Additional required long. reinforcement for each stringer
- A_{sw}/s_w : Stirrup area / unit length
- Parameters : C30/37: τ_{Rd2}=5.5N/mm², S500: fywd=434.8N/mm², Angle: θ=45.00 -

Result points and combinations

Formula / Result	Name	Value	Unit
Total area of stirrup	ASW1	3587	mm ² /m

Allegato 4

Annexe 4

Dimensionamento parete chiodata imbocco lato Francia
Dimensionnement paroi cloué tête française

Date: 09-13-2006

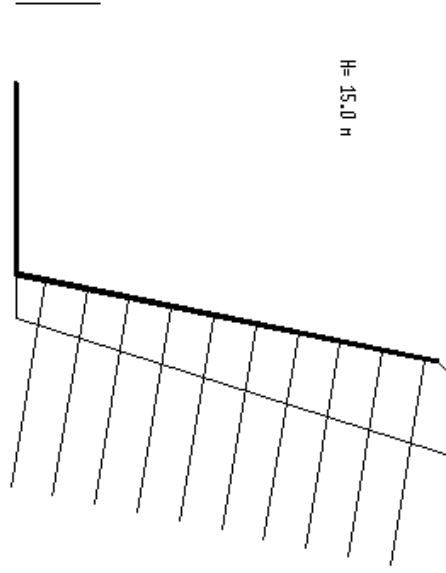
Snai Win 3.10

File: frejus_fr

Minimum Factor of Safety = 6.96

4.4 m Behind Hall Crest
At Hall Toe

H= 15.0 m



Scale = 3 m

LEGEND:

- PS= 300.0 kN
- FV= 420.0 MPa
- Sh= 2.5 m
- Sw= 1.5 m
- GRH PHI COH SIB
- 1 26.0 35 500.0 150.0
- kN/m³ deg kPa kPa

Date: 09-13-2006

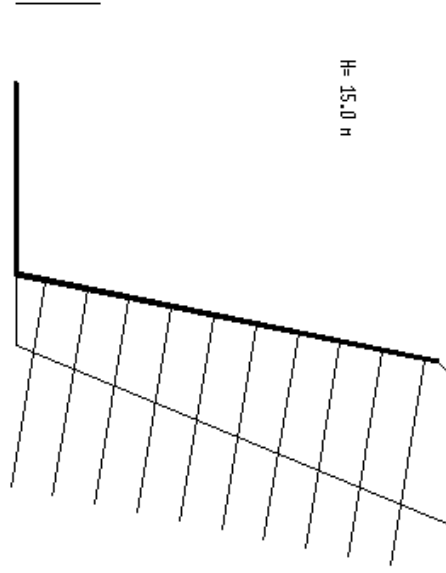
Snai Win 3.10

File: frejus_fr

Minimum Factor of Safety = 6.09

8.8 m Behind Hall Crest
At Hall Toe

H= 15.0 m



Scale = 3 m

LEGEND:

- PS= 300.0 kN
- FV= 420.0 MPa
- Sh= 2.5 m
- Sw= 1.5 m
- GRH PHI COH SIB
kN/m³ deg kPa kPa
1 26.0 35 500.0 150.0

Date: 09-13-2006

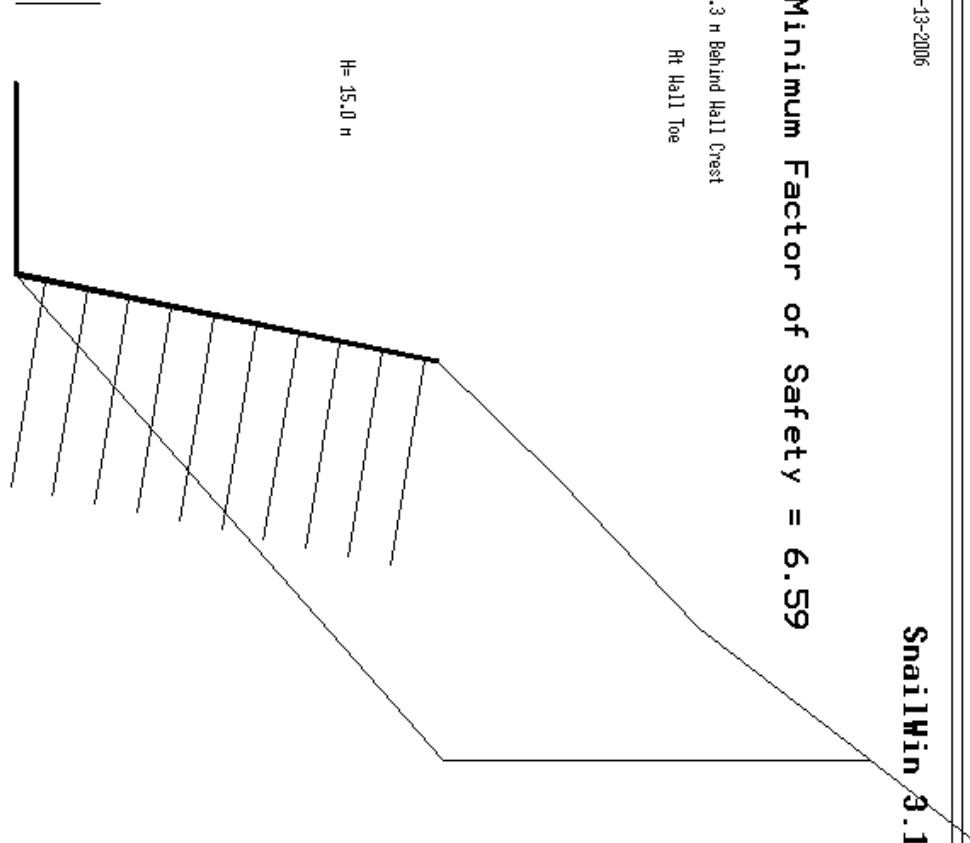
Snai Win 3.10

File: frejus_fr

Minimum Factor of Safety = 6.59

13.3 m Behind Wall Crest
At Wall Toe

H= 15.0 m



Scale = 3 m

LEGEND:

- Ps= 300.0 kN
- Fv= 420.0 MPa
- Su= 2.5 m
- Sw= 1.5 m
- GRH PHI COH SIB
- kN/m³ deg kPa kPa
- 1 26.0 35 500.0 150.0

Date: 09-13-2006

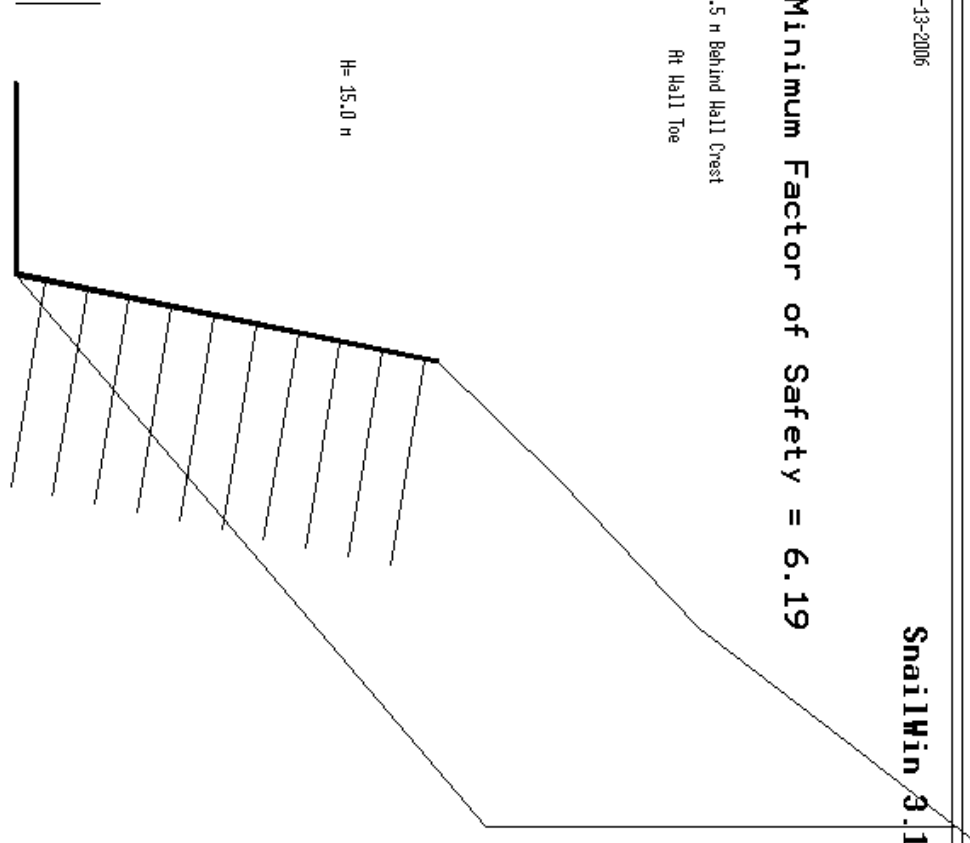
Snai Win 3.10

File: frejus_fr

Minimum Factor of Safety = 6.19

15.5 m Behind Wall Crest
At Wall Toe

H= 15.0 m



Scale = 3 m

LEGEND:
Ps= 300.0 kN
Fv= 420.0 MPa
Sh= 2.5 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH SIB
kN/m³ deg kPa kPa
1 26.0 35 500.0 150.0

Allegato 5

Annexe 5

Analisi di stabilità scarpata lato Francia
Analyses de stabilité talus tête française

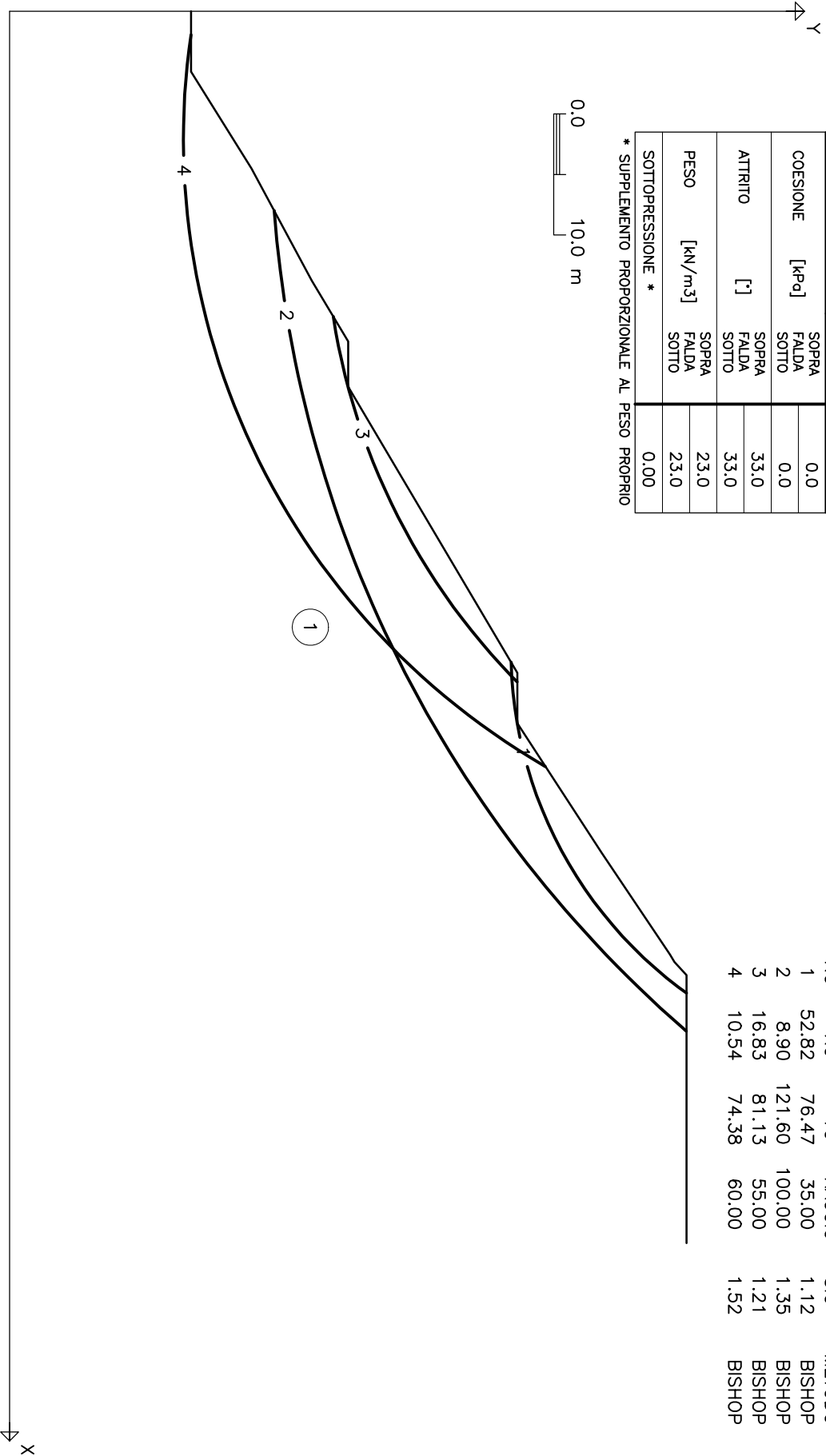
Galleria di sicurezza del Frejus – Sezione 1–1 profilo attuale
P0731: STABILITA' PENDII – LOMBARDI SA

MINUSIO, 12.09.2006

A S O	0.00	ZONA	1
A S V	0.00	SOPRA FALDA SOTTO	0.0
COESIONE	[kPa]	SOPRA FALDA SOTTO	0.0
ATTRITO	[°]	SOPRA FALDA SOTTO	33.0
PESO	[kN/m³]	SOPRA FALDA SOTTO	23.0
SOTTOPRESSIONE *			0.00

* SUPPLEMENTO PROPORZIONALE AL PESO PROPRIO

0.0
10.0 m



CERCHI ANALIZZATI

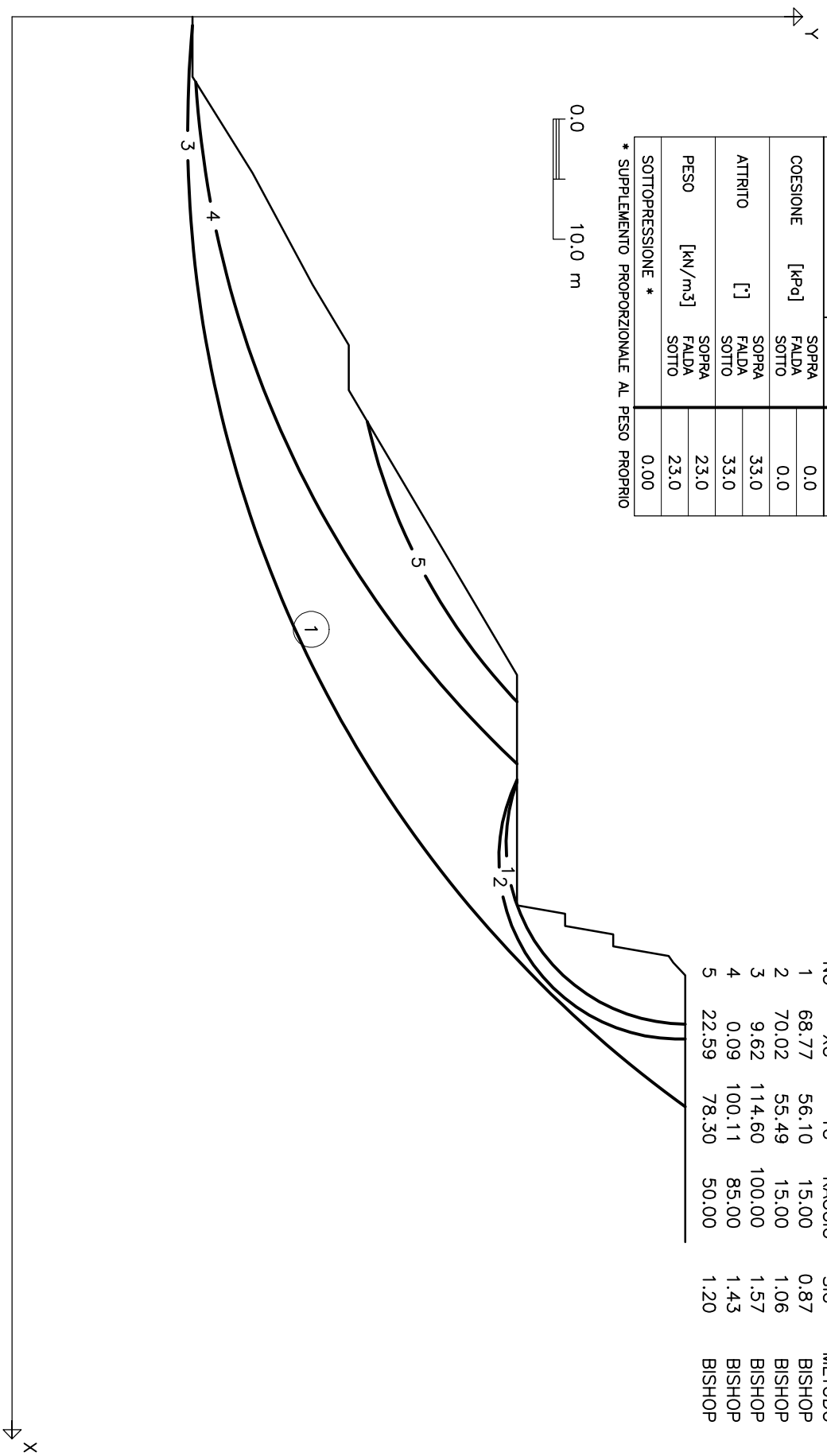
NO	XC	YC	RAGGIO	SIC	METODO
1	52.82	76.47	35.00	1.12	BISHOP
2	8.90	121.60	100.00	1.35	BISHOP
3	16.83	81.13	55.00	1.21	BISHOP
4	10.54	74.38	60.00	1.52	BISHOP

Galleria di sicurezza del Frejus – Sezione 1-1 dopo lo scavo
P0731: STABILITA' PENDII – LOMBARDI SA

MINUSIO, 12.09.2006

A S O	0.00	ZONA	1
A S V	0.00	SOPRA FALDA SOTTO	0.0
COESIONE	[kPa]	SOPRA FALDA SOTTO	0.0
ATTRITO	[°]	SOPRA FALDA SOTTO	33.0
PESO	[kN/m ³]	SOPRA FALDA SOTTO	23.0
SOTTOPRESSIONE *			0.00

* SUPPLEMENTO PROPORZIONALE AL PESO PROPRIO



CERCHI ANALIZZATI						
NO	XC	YC	RAGGIO	SIC	METODO	
1	68.77	56.10	15.00	0.87	BISHOP	
2	70.02	55.49	15.00	1.06	BISHOP	
3	9.62	114.60	100.00	1.57	BISHOP	
4	0.09	100.11	85.00	1.43	BISHOP	
5	22.59	78.30	50.00	1.20	BISHOP	

Allegato 6

Annexe 6

Dimensionamento parete chiodata pista cantiere lato Francia
Dimensionnement paroi cloué piste de chantier tête française

Date: 09-13-2006

Snai1Win 3.10

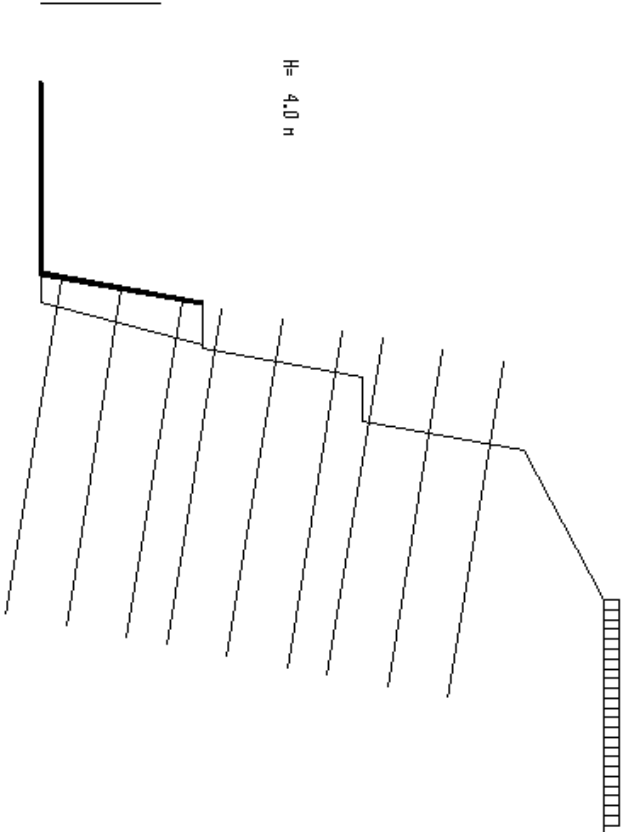
File: frejus_fr3

Minimum Factor of Safety = 3.30

0.9 m Behind Hall Crest

At Hall Toe

H = 4.0 m



Scale = 3 m

Surcharge

LEGEND:
Ps= 500.0 kN
Fv= 520.0 MPa
Sh= 2.0 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH SIG
kN/m³ deg kPa kPa
1 23.0 33 0.0 100.0

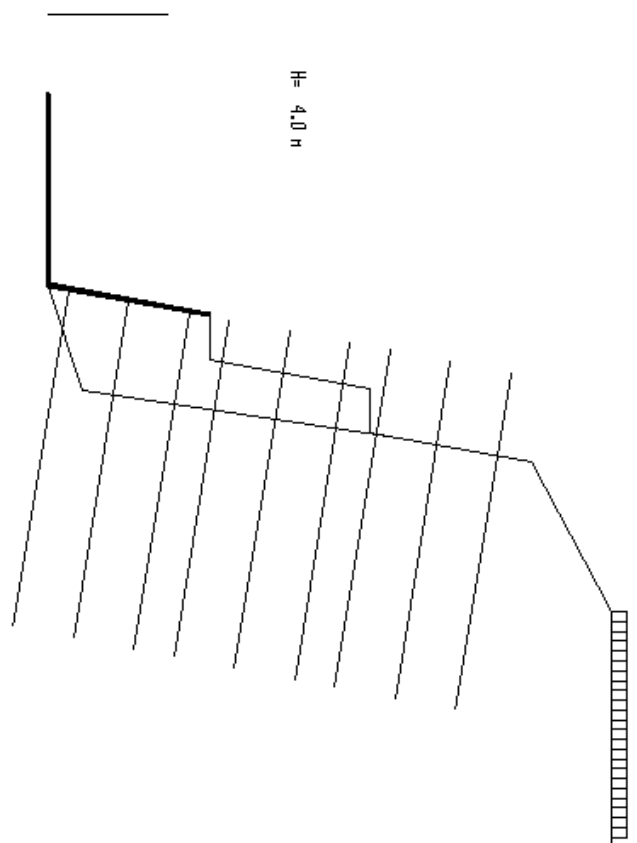
Date: 09-13-2006

Snai1Win 3.10

File: frejus_fr3

Minimum Factor of Safety = 2.79

2.8 m Behind Hall Crest
At Hall Toe



Scale = 3 m

Surcharge

LEGEND:
PS= 500.0 kN
FV= 520.0 MPa
Sh= 2.0 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH SIB
kN/m³ deg kPa kPa
1 23.0 33 0.0 100.0

Date: 09-13-2006

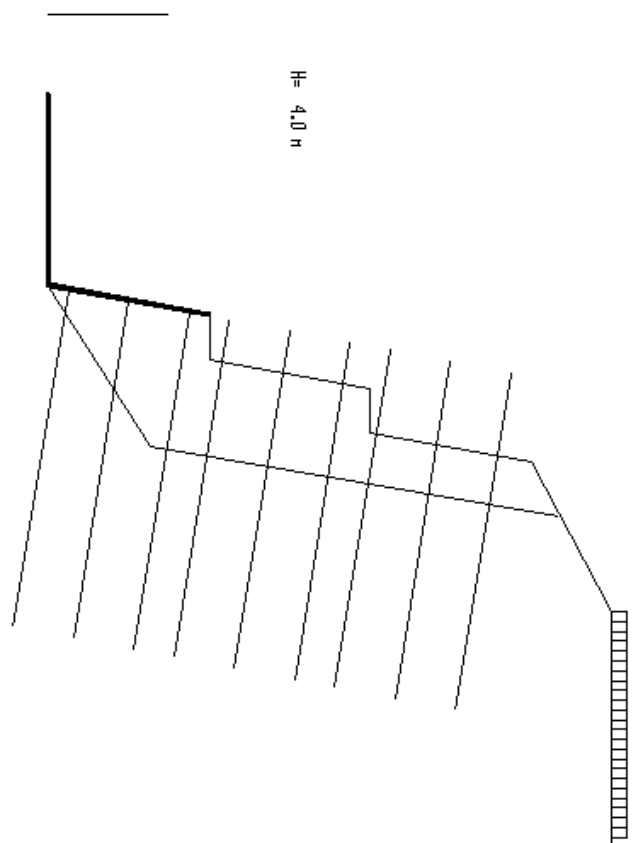
Snai Win 3.10

File: frejus_fr3

Minimum Factor of Safety = 1.97

4.6 m Behind Wall Crest
At Wall Toe

H = 4.0 m



Scale = 3 m

 Surcharge

LEGEND:
PS= 500.0 kN
FV= 520.0 MPa
Sh= 2.0 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH SIB
kN/m³ deg kPa kPa
1 23.0 33 0.0 100.0

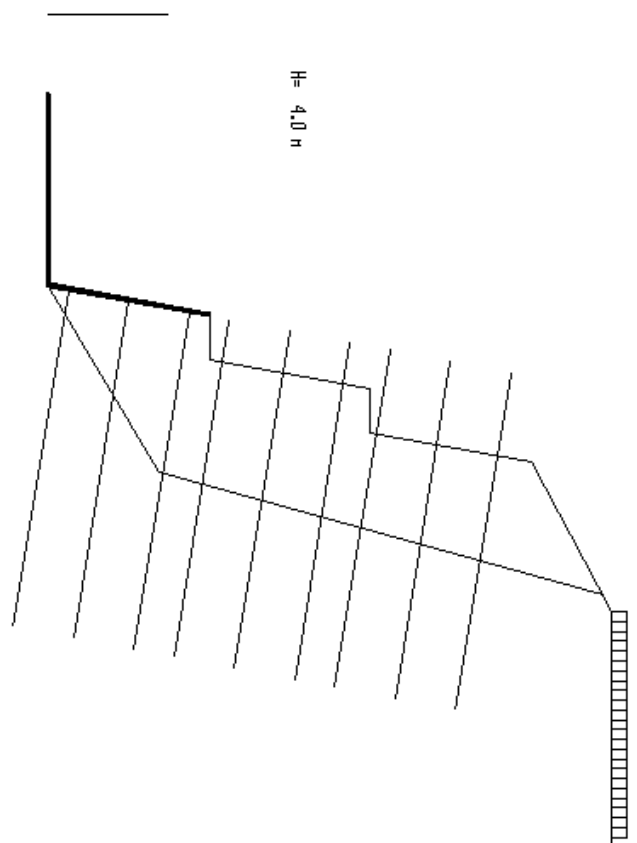
Date: 09-13-2006

Snai Win 3.10


File: frejus_fr3

Minimum Factor of Safety = 1.61

6.5 m Behind Wall Crest
At Wall Toe



Scale = 3 m

 Surcharge

LEGEND:
PS= 500.0 kN
FV= 520.0 MPa
Sh= 2.0 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH SIB
kN/m³ deg kPa kPa
1 23.0 33 0.0 100.0

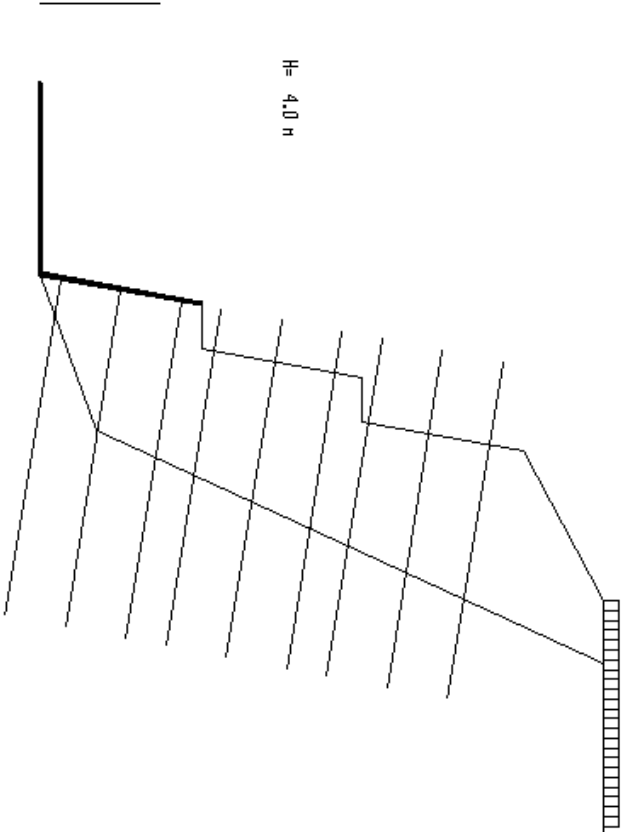
Date: 09-13-2006

Snai1Win 3.10

File: frejus_fr3

Minimum Factor of Safety = 1.37

8.4 m Behind Hall Crest
At Hall Toe



Scale = 3 m

Surcharge

LEGEND:
PS= 500.0 kN
FV= 520.0 MPa
Sh= 2.0 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH SIB
kN/m³ deg kPa kPa
1 23.0 33 0.0 100.0

Date: 09-13-2006

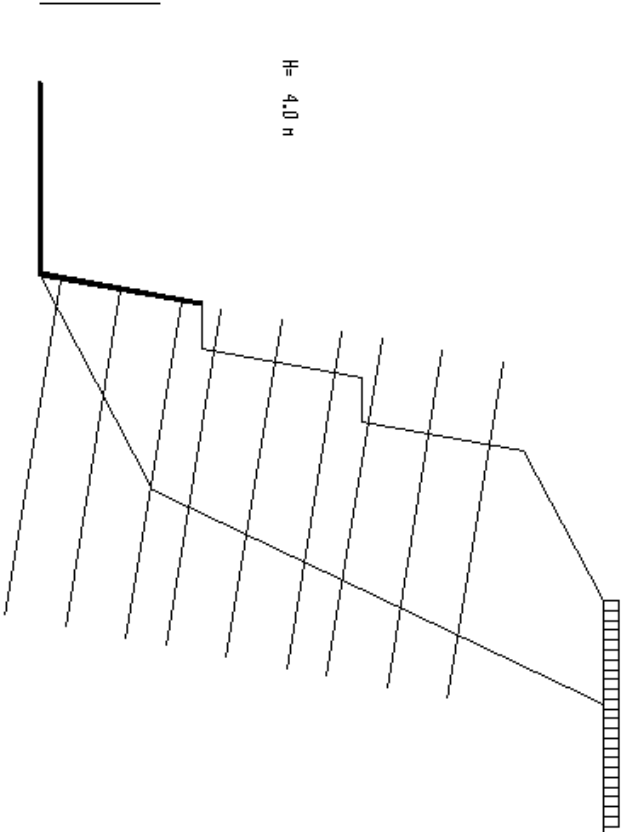
Snai1Win 3.10

File: frejus_fr3

Minimum Factor of Safety = 1.33

9.3 m Behind Hall Crest
At Hall Toe

H = 4.0 m



Scale = 3 m

Surcharge

LEGEND:
PS= 500.0 kN
FV= 520.0 MPa
Sh= 2.0 m
Sw= 1.5 m
GRH PHI COH SIB
kN/m³ deg kPa kPa
1 23.0 33 0.0 100.0

Allegato 7

Annexe 7

Dimensionamento rilevato in terra rinforzata lato Francia
Dimensionnement remblai terre renforcée tête française



Relazione di calcolo programma G.W.S.

Il programma G.W.S. tratta il dimensionamento di opere in terre rinforzate, eseguendo le verifiche di moto rigido relative a schiacciamento, scorrimento e ribaltamento come riportato nella vigente normativa. La verifica di stabilità globale dell'opera è rimandata a codici di calcolo maggiormente specifici.

Il programma esegue inoltre la verifica dei rinforzi a rottura ed a sfilamento.

Le verifiche suddette sono svolte considerando l'ipotesi di tre tipi di terreno che entrano in gioco nel calcolo e cioè terreno spingente, terreno di base e terreno relativo all'opera di sostegno. La spinta del terreno è considerata in condizioni drenate ed in condizioni statiche.

Riepilogo dei dati di input:

<i>Opera di sostegno</i>	H = 12	$\gamma = 20$	<i>Terreno a monte</i>	$\phi = 33$	<i>Terreno di base</i>	$\phi = 33$
	B = 5	$c' = 0$		$\gamma = 23$		$\gamma = 23$
	$\beta = 80$	$z = 0$		$c' = 0$		$c' = 0$
	$\phi = 34$		<i>Carico a monte</i>	$q = 20$		
<i>Casseratura frontale tipo</i>	Standard		<i>Tipo rinforzo</i>	Italgrid 80/30		

Calcolo di progetto:

$$\text{Verifica a scorrimento: } \frac{\text{Forza resistente}}{\text{Forza agente}} = \frac{779.29}{287.58} = 2.71 \quad \textbf{Verificato}$$

$$\text{Verifica a ribaltamento: } \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento ribaltante}} = \frac{5'469.55}{1'150.30} = 4.75 \quad \textbf{Verificato}$$

$$\text{Verifica di capacità portante: } \frac{\text{Capacità portante}}{\text{Pressione massima}} = \frac{2'023.28}{240.00} = 8.43 \quad \textbf{Verificato}$$

Riepilogo dei dati di input dei rinforzi, (dati proposti dal fornitore).

	Prodotto = Italgrid		Prodotto = Italgrid
<i>Rinforzo</i>	R a trazione = 80 kN/m	<i>Rinforzo</i>	R a trazione = 55 kN/m
<i>blocco</i>	Coeff. interazione = 0.8	<i>blocco</i>	Coeff. interazione = 0.8
<i>inferiore</i>	FS a rottura = 3	<i>superiore</i>	FS a rottura = 3
	FS a Pull-out = 2		FS a Pull-out = 2

$$\text{Verifica a rottura: } \frac{\text{Resistenza massima}}{\text{Forza agente}} = 3.34 \quad \textbf{Verificato}$$

$$\text{Verifica a sfilamento interno: } \frac{\text{Forza resistente}}{\text{Forza agente}} = 27.38 \quad \textbf{Verificato}$$