

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

**VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA
VARIANTE DI BONORVA - TORRALBA**

GALLERIA MONTE MARTIS
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO

SCALA:

-

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

RR0H 04 D 07 CL GA0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva		Mar. 2018		Mar. 2018		Mar. 2018	

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	5
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.1	LEGGI E NORMATIVE COGENTI	5
3.2	NORMATIVE NON COGENTI E RACCOMANDAZIONI	5
3.3	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)	5
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
4.1	DOCUMENTI REFERENZIATI	6
4.2	DOCUMENTI CORRELATI.....	6
4.3	DOCUMENTI SUPERATI	6
5	ALLEGATI.....	6
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO.....	6
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	8
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	8
7.2	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO	8
8	FASE CONOSCITIVA.....	9
8.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	9
8.2	INDAGINI GEOTECNICHE.....	9
8.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	9
	8.3.1 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi	9
	8.3.2 Il regime idraulico	10
8.4	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA	10
9	SOLUZIONI PROGETTUALI.....	13

9.1	GALLERIA MONTE MARTIS - IMBOCCO SUD LATO BONORVA	13
9.1.1	<i>Scavi provvisori</i>	13
9.1.2	<i>Sistemazione definitiva</i>	14
9.2	GALLERIA MONTE MARTIS - IMBOCCO NORD LATO CHILIVANI	15
9.2.1	<i>Scavi provvisori</i>	15
9.2.2	<i>Sistemazione definitiva</i>	17
10	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....	19
11	CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE	21
11.1	VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SCARPATE	21
11.1.1	<i>Azioni</i>	21
11.1.2	<i>Approcci progettuali e metodi di verifica</i>	21
11.2	RAFFORZAMENTI CORTICALI.....	24
11.2.1	<i>Approcci progettuali e metodi di verifica</i>	24
12	VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO.....	30
12.1	VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SCARPATE	30
12.1.1	<i>Input del modello di calcolo</i>	30
12.1.2	<i>Analisi dei carichi</i>	30
12.1.3	<i>Risultato dei calcoli</i>	31
12.2	RAFFORZAMENTI CORTICALI.....	38
12	CONCLUSIONI	42



VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	4 di 42

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono lo studio delle problematiche progettuali e il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari all'esecuzione delle opere di imbocco della galleria naturale Monte Martis, nell'ambito del progetto definitivo di Velocizzazione della linea San Gavino – Sassari – Olbia – Variante Bonorva.

La variante di tracciato Bonorva - Torralba si sviluppa per circa 6,7 Km a partire dalla linea storica in prossimità della stazione di Bonorva per ricongiungersi con la stessa in prossimità della stazione di Torralba.

La parte in sotterraneo è lunga circa 2,5 km e consta di 2 gallerie naturali a singolo binario denominate rispettivamente Monte Martis e Giave.

Le opere in oggetto ricadono nei limiti comunali di Giave, in provincia di Sassari.

La realizzazione degli imbocchi della galleria è prevista con “attacco diretto”, senza l'ausilio di opere provvisorie. Le trincee di appoggio alle pareti di attacco dello scavo in naturale sono previste mediante scavi aventi pendenza H:V=1:4 nelle ignimbriti, mentre nei depositi di versante avranno pendenza H:V=3:2. Le superfici delle trincee saranno protette nelle fasi provvisorie da uno strato di calcestruzzo proiettato e da una maglia di bullonature passive con funzione di rafforzamento corticale. In fase definitiva è prevista l'esecuzione di due portali inversi e la sistemazione superficiale del terreno. Le parti di scarpata provvisoria non ritombate saranno protette da un intervento di “soil nailig” definitivo con doppio paramento.



VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	5 di 42

2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di imbocco della galleria Monte Martis facente parte della linea ferroviaria linea San Gavino – Sassari – Olbia – Variante Bonorva. Per l'inquadramento generale delle opere in sotterraneo si rimanda al documento "Relazione descrittiva" (Rif. [11]).

In particolare, sono riportati le verifiche di stabilità degli scavi provvisori e il dimensionamento degli interventi di rafforzamento corticale delle scarpate provvisorie.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 Leggi e normative cogenti

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008";
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie";
- Rif. [4] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente "la sicurezza nelle gallerie ferroviarie" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le "persone a mobilità ridotta" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.

3.2 Normative non cogenti e raccomandazioni

- Rif. [7] SIG, "Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sotterraneo", 1997;
- Rif. [8] ITA, "Guidelines for the design of tunnels", 1988;

3.3 Prescrizioni e specifiche tecniche (RFI, ITF)

- Rif. [9] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 A "Manuale di Progettazione delle opere civili" datato Dic 2016;
- Rif. [10] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 "Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali" datato Dicembre 2015.

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	6 di 42

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

4.1 Documenti Referenziati

- Rif. [11] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07RGGN0000001A 'Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo' datata Marzo 2018
- Rif. [12] U.O. Gallerie, documento n.°RR0H4D07CLGN0100001A- Galleria Monte Martis -Relazione geotecnica e di calcolo galleria naturale datata Marzo 2018
- Rif. [13] U.O. Gallerie, documento n.°RR0H4D07SPGN0000001A-Caratteristiche dei materiali - Note Generali. datata Marzo 2018
- Rif. [14] U.O. Gallerie, documento n.°RR0H4D07WAGN0000001A-Sezioni tipo di monitoraggio - Galleria di linea e Uscite di emergenza. datata Marzo 2018
- Rif. [15] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07F5GN0000001A 'Galleria Monte Martis e Galleria Giave - Profilo geotecnico' datata Marzo 2018
- Rif. [16] U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche, documento RR0H04D69RGGE0001001A "Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica" datato Marzo 2018;

4.2 Documenti Correlati

- Rif. [17] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.).

4.3 Documenti Superati

Non sono presenti documenti superati.

5 ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- All. [1] [Risultati delle analisi di verifica dei muri di sostegno];

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono utilmente completati e arricchiti dai seguenti elaborati di progetto:

- Rif. [18] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07PAGA0100001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Bonorva 'Fasi Provvisorie - Planimetria e profilo longitudinale' - datato Marzo 2018



VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	7 di 42

- Rif. [19] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07WBGA0100001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Bonorva 'Fasi provvisorie - Sezioni caratteristiche' - datato Marzo 2018
- Rif. [20] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07BZGA0100001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Bonorva 'Fasi provvisorie - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi' - datato Marzo 2018
- Rif. [21] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07PAGA0100002A Galleria Monte Martis Imbocco lato Bonorva 'Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale' - datato Marzo 2018
- Rif. [22] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07WBGA0100002A Galleria Monte Martis Imbocco lato Bonorva 'Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche' - datato Marzo 2018
- Rif. [23] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07BBGA0100001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Bonorva 'Dima e concio d'attacco - Carpenteria e consolidamenti' - datato Marzo 2018
- Rif. [24] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07PAGA0200001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Chilivani 'Fasi Provvisorie - Planimetria e profilo longitudinale' - datato Marzo 2018
- Rif. [25] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07WBGA0200001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Chilivani 'Fasi provvisorie - Sezioni caratteristiche' - datato Marzo 2018
- Rif. [26] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07BZGA0200001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Chilivani 'Fasi provvisorie - Sviluppata delle opere di imbocco e particolari costruttivi' - datato Marzo 2018
- Rif. [27] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07PAGA0200002A Galleria Monte Martis Imbocco lato Chilivani 'Sistemazione definitiva - Planimetria e profilo longitudinale' - datato Marzo 2018
- Rif. [28] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07WBGA0200002A Galleria Monte Martis Imbocco lato Chilivani 'Sistemazione definitiva - Sezioni caratteristiche' - datato Marzo 2018
- Rif. [29] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07BBGA0200001A Galleria Monte Martis Imbocco lato Chilivani 'Dima e concio d'attacco - Carpenteria e consolidamenti' - datato Marzo 2018
- Rif. [30] UO Gallerie, documento n. RR0H04D07BBGA0200002A Galleria Monte Martis Imbocco lato Chilivani 'Portale di imbocco - Carpenteria' - datato Marzo 2018



VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA
VARIANTE DI BONORVA

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	8 di 42

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La galleria Monte Martis si sviluppa per circa 0.935 Km, da progr. 1+268 fino a progr. 2+203.12, di cui 904.3 m in naturale, 15.5 m in artificiale lato Bornova e 15.32 m in artificiale lato Chilivani.

Le sezioni di intradosso utilizzate per gallerie di linea a singolo binario in scavo tradizionale sono in accordo con le sezioni tipo del Manuale di Progettazione RFI (Rif. [9]), idonee al transito del gabarit B+ (P.M.O. n°3) e velocità di progetto sino a 160 km/h. Al suo interno è previsto l'alloggiamento dell'armamento tradizionale con traverse tipo "RFI-240" poggiate su ballast e la predisposizione all'elettrificazione in c.c. a 3 kV.

Dette sezioni hanno un raggio di calotta pari a 3.0 metri, il raggio alle reni pari a 5.0 metri e il raggio di piedritto pari a 6.7 metri sviluppando complessivamente un'area libera di 32.3 m² ed un perimetro di 21.7 metri.

La quota di imbocco lato Bonorva è pari a circa 440 m s.l.m. mentre quella lato Chilivani è pari a circa 420 m s.l.m. La galleria è monopendente con pendenza del 16‰ in discesa verso Chilivani. Procedendo dall'imbocco lato Bonorva le coperture dopo un primo tratto con valori fino a 20 m crescono fino a raggiungere il massimo di 70. Dalla copertura massima a pk 1+900 km, le coperture degradano fino all'imbocco lato Chilivani.

7.2 Interferenze lungo il tracciato

Le opere in oggetto non presentano interferenze di superficie.

	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA					
GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 001	REV. A	FOGLIO 9 di 42

8 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo del mezzo interessato dall'opera. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica con specifico riferimento al volume significativo interessato dalle opere di imbocco lato Bonorva e lato Chilivani della galleria naturale Monte Martis.

8.1 Inquadramento geologico

Per una dettagliata descrizione del modello geologico del sito si rimanda al documento “Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica” (Rif. [16]).

8.2 Indagini geotecniche

Per una dettagliata descrizione delle indagini geotecniche eseguite in sito si rimanda al documento “Relazione geotecnica e di calcolo della galleria naturale” Rif. [12]

8.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche, in sito e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere di imbocco. Il modello geotecnico complessivo dell'opera in sotterraneo è rappresentato nell'elaborato “Galleria Monte Martis e Galleria Giave – Profilo Geotecnico” (Rif. [18]).

8.3.1 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

I parametri geotecnici del terreno utilizzati nei calcoli di dimensionamento sono riportati sinteticamente nelle seguente tabella.

Tabella 8-1 – Parametri geotecnici di calcolo per gli imbocchi della galleria Monte Martis

Unità	Descrizione	γ	ν	c_k	ϕ_k	k_0	E
		[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[°]	[-]	[MPa]
a1	Depositi di versante	19	0.3	40	30	0.5	30
IGR	Ignimbriti	20	0.25	183	45.8	-	1404

γ : peso di volume
 ν : coefficiente di Poisson
 c_k : valore caratteristico della coesione
 ϕ_k : valore caratteristico dell'angolo di resistenza a taglio
 k_0 : coefficiente di spinta a riposo
 E: modulo elastico del terreno

8.3.2 Il regime idraulico

Il livello della falda di riferimento è tale da non interessare le opere di imbocco in progetto.

8.4 Caratteristiche del sito e definizione dell'azione sismica

Le opere in progetto si trovano nel comune di Giave, in un sito con le seguenti coordinate geografiche:

Imbocco nord: latitudine: 40,442807° - longitudine: 8,765873°.

Imbocco sud: latitudine: 40,435195° - longitudine: 8,767767°

Agli scavi provvisori per le verifiche di stabilità, si attribuisce una vita nominale V_N di 10 anni trattandosi di opere provvisorie. Di conseguenza, il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica, V_R , si assume pari a 35 anni (DM 14/01/2008).

Per la galleria artificiale e muri di sostegno, si definisce una vita nominale V_N pari a 100 anni e una classe d'uso II a cui corrisponde il coefficiente C_u pari a 1.0 (§ 2.4.2, DM 14/01/2008). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a $V_R = V_N \cdot C_u = 100$.

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica, P_{VR} , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo V_R dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno T_R del sisma di progetto. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto, T_R , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale (Tabella 1 dell'allegato B del D.M. 14/01/2008):

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
 GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
 IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	11 di 42

- a_g : accelerazione orizzontale massima
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Per tenere conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (DM 14/01/2008):

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

S_S è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici F_0 e a_g/g (Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008);

S_T è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008).

Il territorio della Sardegna ricade in zona 4, pertanto i valori di a_g , F_0 e T_c sono stati valutati avvalendosi della tabella 2 del D.M. 14/01/2008 valida per le isole con l'esclusione di Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Tabella 8-2 – Valori di a_g , F_0 e T_c per le isole

TABELLA 2: Valori di a_g , F_0 , T_c^* per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica per le opere d'imbocco sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 8-3 - Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

	Imbocchi	
	Scavi provvisori	Galleria artificiale e muri di sostegno
T_R	332	949
a_g/g	0.045	0.0603
F_0	2.85	2.98
Categoria sottosuolo	A	B
S_S	1.0	1.2
Categoria topografica	T4	T1
S_T	1.4	1.0
a_{max}/g	0.063	0.084

9 SOLUZIONI PROGETTUALI

9.1 Galleria Monte Martis - Imbocco sud lato Bonorva

9.1.1 Scavi provvisori

Le figure seguenti illustrano la planimetria e il profilo degli scavi per l'esecuzione dell'imbocco della galleria Monte Martis sud lato Bonorva in fase provvisoria.

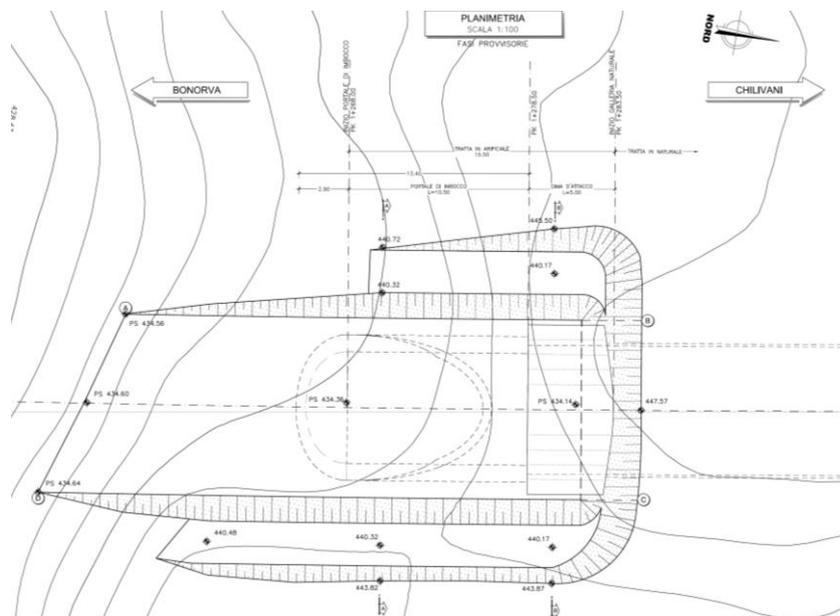


Figura 9-1 Galleria Monte Martis – Imbocco lato Bonorva – Planimetria in fase provvisoria

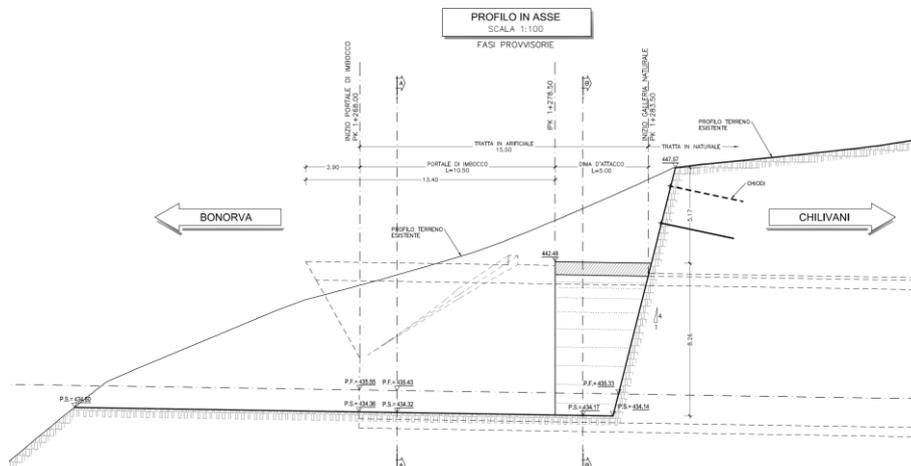


Figura 9-2 Galleria Monte Martis – Imbocco lato Bonorva – Profilo in fase provvisoria

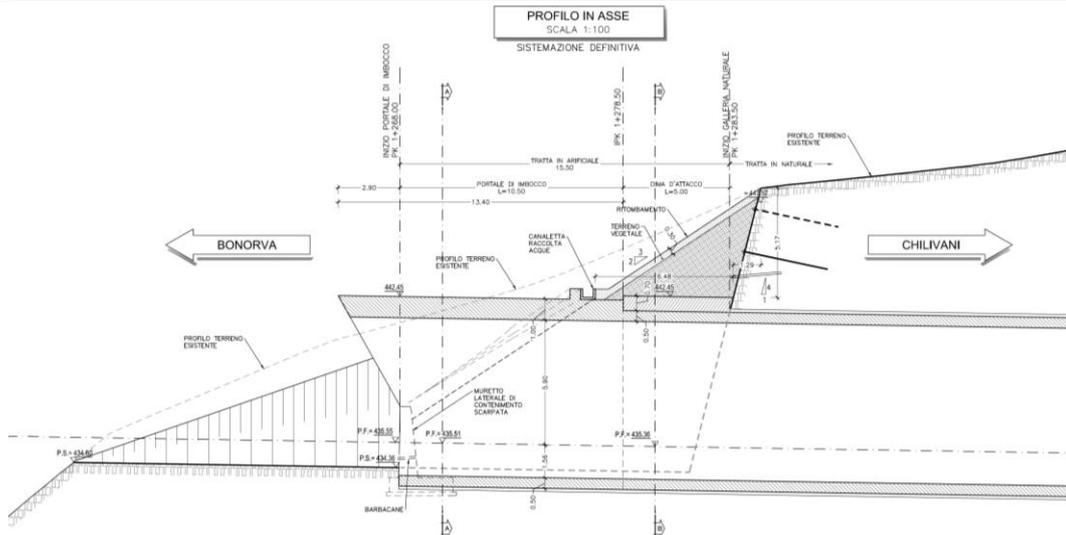


Figura 9-4 – Galleria Monte Martis – Imbocco lato Bonorva – Planimetria in fase definitiva

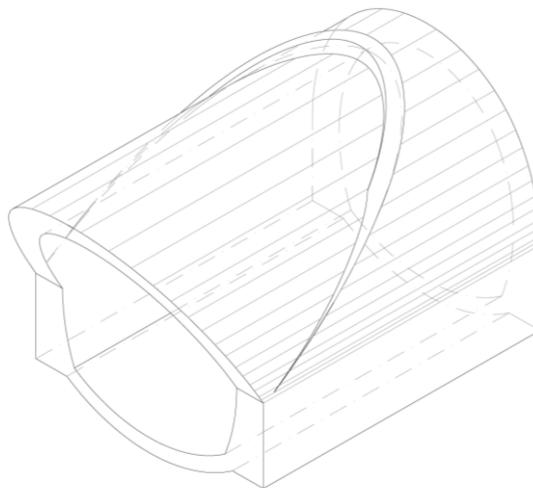


Figura 9-5 – Portale d'imbocco – Vista 3D

9.2 Galleria Monte Martis - Imbocco nord lato Chilivani

9.2.1 Scavi provvisori

Le figure seguenti illustrano la planimetria e il profilo degli scavi per l'esecuzione dell'imbocco della galleria Monte Martis nord lato Chilivani in fase provvisoria. Le soluzioni adottate sono analoghe all'imbocco lato Bonorva.

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	16 di 42

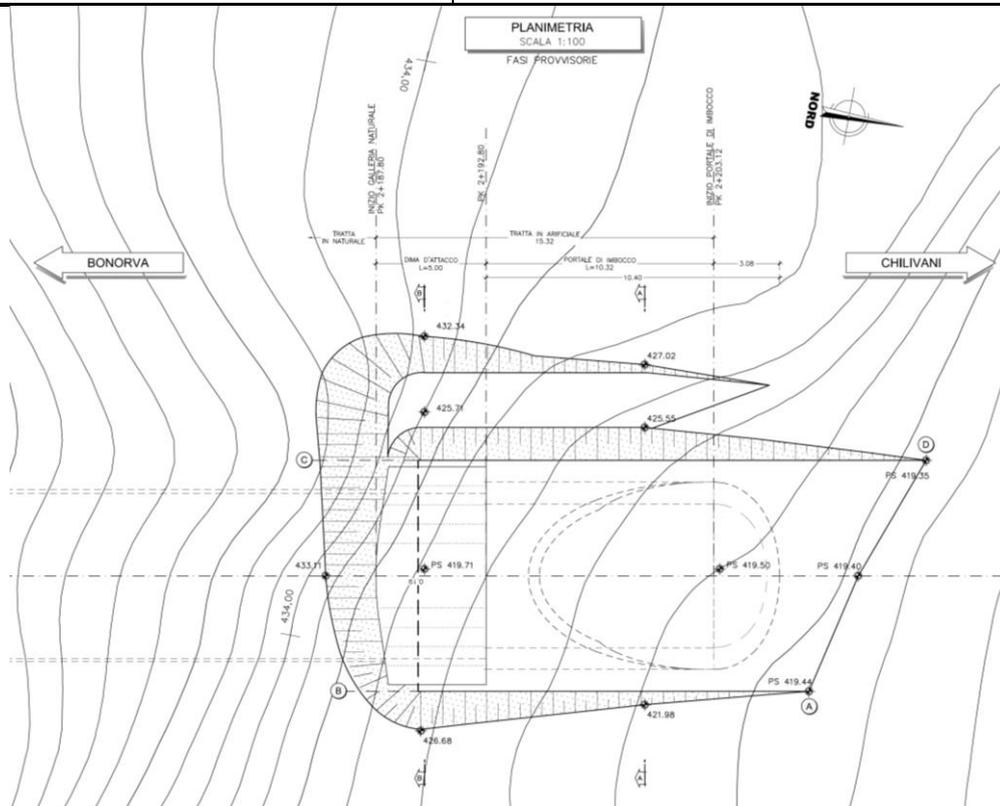


Figura 9-6 Galleria Monte Martis – Imbocco lato Chilivani – Planimetria in fase provvisoria

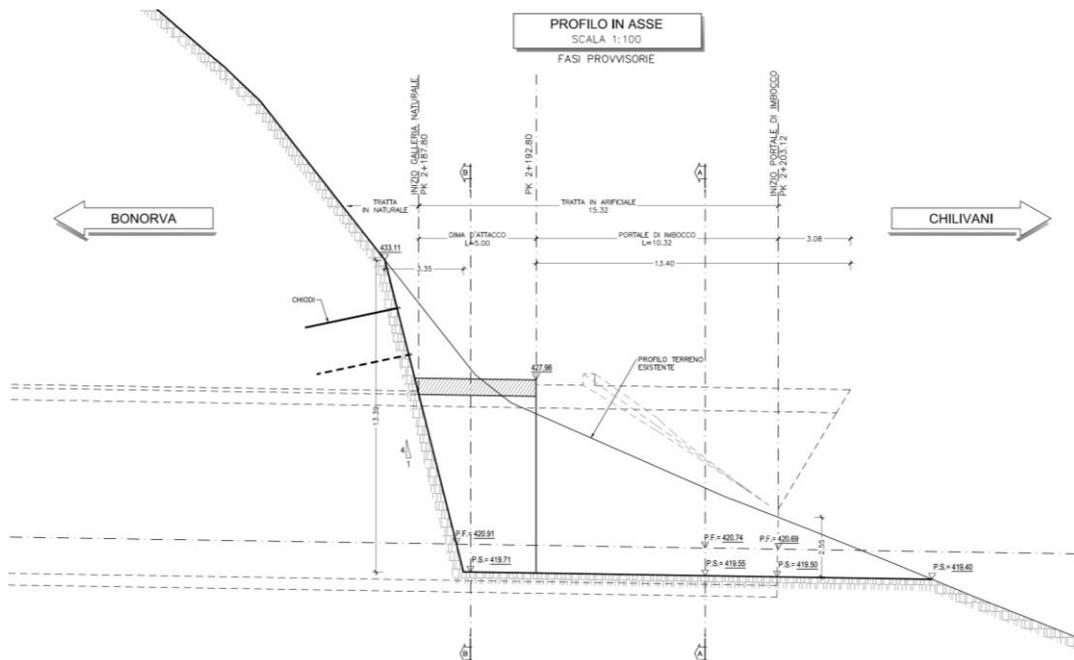


Figura 9-7 Galleria Monte Martis – Imbocco lato Chilivani – Profilo in fase provvisoria

9.2.2 Sistemazione definitiva

Le figure seguenti illustrano la planimetria e il profilo dell'imbocco della galleria Monte Martis nord lato Bonorva in fase definitiva. Le opere di imbocco constano di un portale d'imbocco inverso di 10.32 m, la cui geometria è riportata in Figura 9-5.

La sistemazione superficiale del ritombamento al di sopra del tratto in artificiale presenta altezza variabile, da un massimo di circa 5.0 m in corrispondenza dell'imbocco della galleria naturale a un minimo di 0.6 m in corrispondenza del portale. Il ritombamento sarà eseguito con pendenza H:V=3:2.

Le parti di scarpata provvisoria non ritombate saranno protette da un intervento di "soil nailig" definitivo con doppio paramento come illustrato in Figura 9-10.

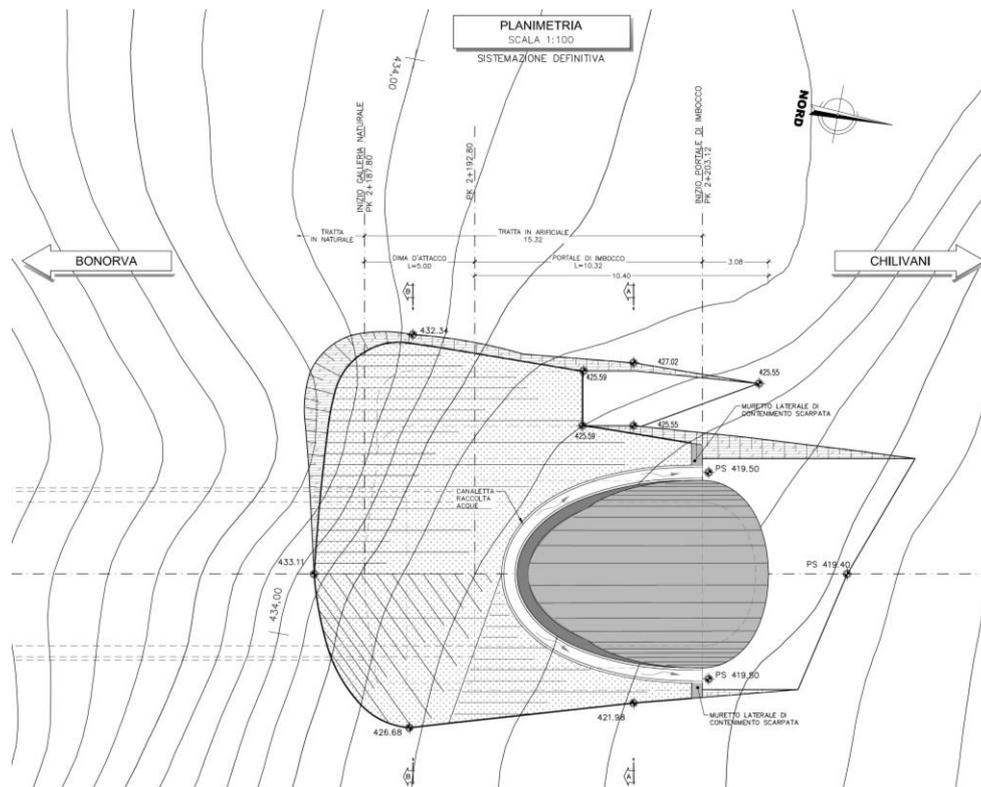


Figura 9-8 Galleria Monte Martis – Imbocco lato Chilivani – Planimetria in fase definitiva

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	18 di 42

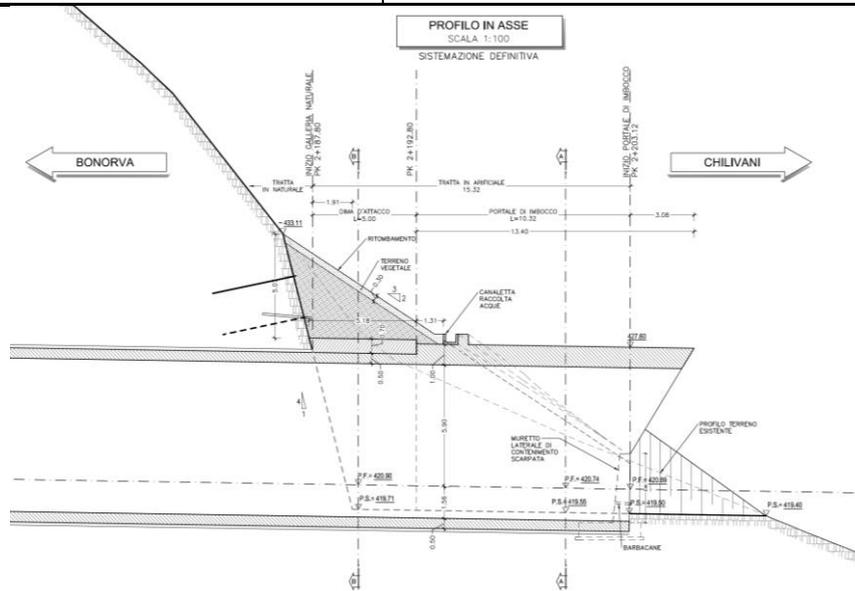


Figura 9-9 Galleria Monte Martis – Imbocco lato Chilivani – Profilo in fase definitiva

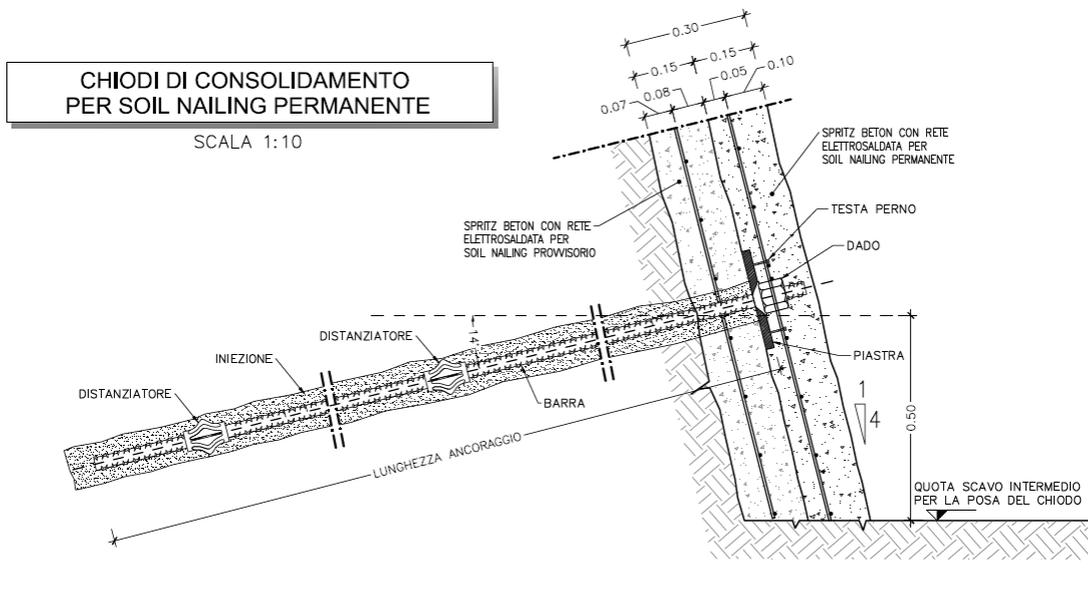


Figura 9-10 Galleria Monte Martis – Soil nailing permanente

10 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008.

Rafforzamenti corticali

Calcestruzzo proiettato	
Classe di resistenza	C 25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm} / 10)^{0.3} = 31447 \text{ MPa}$
Classe minima di sviluppo della resistenza minima a compressione a breve termine	J2
Curva granulometrica degli aggregati di tipo continuo con diametro massimo di:	10 mm
Classe di consistenza	S5
Classe di assorbimento energetica minima	E700

Rete elettrosaldata	
Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 450 \text{ MPa}$
Diametro	$\phi 6$
Maglia	15 cm x 15 cm

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	20 di 42

Bulloni in acciaio

Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 450$ MPa
Diametro barra	$\phi 28$ mm
Maglia	2.0 m x 2.0 m
Diametro barra	D=70 mm

11 CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/09 (Rif. [1]Rif. [2]).

11.1 Verifiche di stabilità delle scarpate

11.1.1 Azioni

Le azioni considerate per la verifica di stabilità degli scavi provvisori sono le seguenti:

- **azioni permanenti:** peso proprio del terreno.
- **azioni variabili:** carico variabile sul piano campagna Q_{IM} , atto a schematizzare nella fase costruttiva l'eventuale presenza di sovraccarichi di varia natura connessi alla realizzazione delle opere.
- **azione sismica:** l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo 8.4.

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal DM 14/01/2008, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite ultimi e di esercizio in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

- combinazione fondamentale (SLU)
- combinazione sismica (SLV): il coefficiente di combinazione per il carico variabile Q_1 è pari a 0.2

11.1.2 Approcci progettuali e metodi di verifica

La verifica di sicurezza relativa agli Stati Limite Ultimi deve rispettare la condizione 6.2.1 prescritta dalle NTC 2008, ovvero:

$$E_d \leq R_d$$

in cui E_d è il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni e R_d è il valore di progetto della resistenza del terreno.

In accordo con le indicazioni del DM 2008 § 6.8.2, le verifiche di sicurezza SLU sono state condotte secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 ($A_2+M_2+R_2$), in cui A_2 sono i coefficienti moltiplicativi delle azioni ed M_2 ed R_2 sono i coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza dei materiali e della resistenza globale del sistema.

I coefficienti A_2 considerati sono quelli riportati nella tabella 5.2.V delle NTC 2008.

Tabella 11-1 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tabella 5.2.V – NTC 2008)

<i>CARICHI</i>	<i>EFFETTO</i>	<i>SIMBOLO</i> γ_F	<i>(A₁)</i> <i>STR</i>	<i>(A₂)</i> <i>GEO</i>
Permanenti	favorevole	γ_{G1}	1,00	1,00
	sfavorevole		1,35	1,00
Permanente non strutturali	favorevole	γ_{G2}	0,00	0,00
	sfavorevole		1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevole	γ_Q	0,00	0,00
	sfavorevole		1,45	1,25
Variabili	favorevole	γ_{Qi}	0,00	0,00
	sfavorevole		1,50	1,30
Ballast	favorevole	γ_B	1,00	1,00
	sfavorevole		1,50	1,30

I coefficienti M2 considerati sono quelli riportati nella tabella 6.2.II delle NTC 2008.

Tabella 11-2 Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Tabella 6.2.II – DM 2008)

<i>PARAMETRO</i>	<i>GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZIALE</i>	<i>COEFFICIENTE PARZIALE</i> γ_M	<i>(M1)</i>	<i>(M2)</i>
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Alle resistenze calcolate si è inoltre applicato il coefficiente parziale γ_R della Tabella 6.8.I.

Tabella 11-3 Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere in materiali sciolti (Tabella 6.8.I)

<i>COEFF. PARZIALE</i>	<i>(R2)</i>
γ_R	1.1

	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA					
GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 001	REV. A	FOGLIO 23 di 42

Il rapporto tra R_d ed E_d che pertanto dovrà risultare sempre maggiore o uguale a $\gamma_R = 1.1$ per assicurare che la verifica di sicurezza richiesta da normativa sia rispettata.

Per le verifiche sismiche si applicano i stessi criteri enunciati dalle NTC 2008 per la stabilità dei pendii naturali (§ 6.3 e 7.11.3.5) ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni (A2) ed impiegando i valori ridotti di parametri geotecnici (M2) e delle resistenze di progetto (R2).

La normativa permette di analizzare le condizioni di stabilità dei pendii mediante metodi pseudostatici, nei quali l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso al sito e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi SLU, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{ed} \quad F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v pari rispettivamente ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

in cui:

β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g : accelerazione di gravità.

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori di β_s sono riportati nella Tabella 7.11.I delle NTC 2008.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE LINEA SAN GAVINO - SASSARI – OLBIA VARIANTE DI BONORVA					
	GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI IMBOCCO	COMMESSA RR0H	LOTTO 04	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GA 00 00 001	REV. A

Tabella 11-4 Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Tabella 7.11.I – DM2008)

	Categoria di sottosuolo	
	<i>A</i>	<i>B,C,D,E</i>
	β_s	β_s
$0.2 \leq a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 \leq a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Le verifiche di stabilità globale sono state condotte con il codice di calcolo SLOPE/W.

11.2 Rafforzamenti corticali

11.2.1 Approcci progettuali e metodi di verifica

Allo scopo di controllare e prevenire lo sviluppo di eventuali distacchi di massi di piccole dimensioni nella parte più superficiale della parete rocciosa è stato previsto un intervento di rafforzamento corticale a protezione delle scarpate. Tale intervento di protezione si adotta nel caso in cui il versante risulta stabile, l'ammasso è caratterizzato da uno strato di alterazione e fratturazione superficiale che interessa una fascia di spessore dell'ordine di 1-2 m circa.

L'intervento non ha funzione di stabilizzazione globale del pendio ma serve ad impedire l'innesco di fenomeni di rottura progressiva dalla superficie verso l'ammasso, ovvero quei dissesti che interessano la parte dell'ammasso più fratturata e allentata perché soggetta a fenomeni accelerati di degrado e alterazione dovuta agli agenti atmosferici.

Per impedire la caduta dei massi e migliorare la connessione tra la parte superficiale disarticolata e quella sana in profondità si prevede l'impiego di una bullonatura passiva e di uno strato di calcestruzzo spruzzato.

Il dimensionamento dell'intervento è stato effettuato in accordo con la metodologia semplificata proposta da Grimod e Giacchetti (2014) basata sulle seguenti ipotesi:

- 1) considerato che i dissesti superficiali hanno spessori generalmente non superiori a circa 1.0 m, l'approccio considera uno schema di pendio indefinito inclinato di un angolo β e caratterizzato da uno spessore costante s dello strato instabile.
- 2) il calcolo considera l'equilibrio limite dei blocchi instabili individuati dalle famiglie di giunti, analizzandone la configurazione più critica caratterizzata dal giunto inclinato di un angolo α .

11.2.1.1 Dimensionamento degli ancoraggi

Il dimensionamento delle chiodature dipende dalle dimensioni dei blocchi da sostenere. E' necessario verificare sia che tali masse non superino con il loro peso la resistenza al taglio del chiodo (verifica al taglio del materiale costituente il chiodo), sia che il tratto di chiodo ancorato (L_c) sia tale da impedire lo sfilamento del chiodo stesso (verifica allo sfilamento all'interfaccia elemento di rinforzo-roccia).

Il diametro minimo della barra da utilizzare per contrastare lo sforzo di taglio indotto dal blocco instabile lungo il piano di scorrimento può essere valutato attraverso le seguenti espressioni:

$$A_{\text{eff}} = \pi(\phi - 2t_c)^2 / 4$$

$$\varepsilon = 90 - \beta - \theta_0$$

$$\sigma_{\text{adm}} = \sigma_{\text{st}} / \gamma_{\text{st}}$$

in cui:

A_{eff} : area della sezione della barra in acciaio;

ϕ : diametro della barra;

t_c : eventuale spessore di corrosione;

ε : inclinazione del chiodo rispetto all'orizzontale;

β : inclinazione media del pendio;

θ_0 : inclinazione della barra rispetto alla perpendicolare al piano di scorrimento;

σ_{adm} : tensione di snervamento di progetto dell'acciaio dell'ancoraggio;

σ_{st} : tensione di snervamento dell'acciaio dell'ancoraggio;

γ_{st} : coefficiente parziale sull'acciaio;

In accordo con Pellet et al. (1995), Ferrero et al. (1997) e Goodman (1989), il contributo stabilizzante del chiodo R può essere espresso come:

$$R = A_{\text{eff}} \cdot \sigma_{\text{adm}} \cdot \sqrt{\frac{1 + \tan^{-2}(\varepsilon + \delta)}{16} \cdot \frac{1 + \tan^{-2}(\varepsilon + \delta)}{4}}$$

dove δ è la dilatanza lungo il giunto critico calcolata in accordo con il criterio di Barton e Bandis come:

$$\delta = \frac{JRC}{3} \log \left(\frac{JCS}{\sigma_{plan}} \right)$$

In cui:

$$JCS = JCS_0 \cdot \left(\frac{L_G}{L_0} \right)^{-0.03 \cdot JRC_0}$$

$$JRC = JRC_0 \cdot \left(\frac{L_G}{L_0} \right)^{-0.02 \cdot JRC_0}$$

dove:

JRC: rugosità del giunto;

JCS: resistenza a compressione monoassiale del giunto,

σ_{plan} : tensione sul piano di scivolamento;

JRC₀: rugosità del giunto alla scala del campione;

JCS₀: resistenza a compressione monoassiale del giunto alla scala del campione,

L₀: lunghezza del giunto alla scala del campione (assunta pari a 0.1 m in assenza di dati);

L_G: lunghezza del piano di scivolamento (assunta pari alla spaziatura verticale dei chiodi);

Le formule precedenti tengono conto dello scenario peggiore, in quanto considerano la massima dimensione potenziale del blocco che è definita dalla distanza tra i chiodi.

La tensione normale agente sulla superficie media di scorrimento vale:

$$\sigma_{plan} = \frac{W}{i_x \cdot i_y} \cos \alpha$$

dove i_x ed i_y sono la distanza orizzontale e verticale tra i chiodi e W è il peso del blocco instabile sostenuto da un solo ancoraggio:

$$W = i_x \cdot i_y \cdot s \cdot \gamma$$

L'equazione dell'equilibrio limite può essere scritta come:

$$W \cdot (\text{sen}\beta - c \cdot \text{sen}\beta \cdot \tan\phi) + R \geq W \cdot (\text{sen}\beta + c \cdot \cos\beta)$$

In cui ϕ è l'angolo di attrito residuo del giunto. Tale valore è molto difficile da definire attraverso le indagini in sito, specialmente nel caso di ammasso roccioso alterato superficialmente. Pertanto, per semplificare la procedura di calcolo, gli autori suggeriscono di assumere come valore dell'angolo di attrito residuo del giunto 45° , in modo tale che la $\tan\phi$ possa essere trascurata ($\tan\phi = \tan 45^\circ = 1$).

Introducendo i coefficienti parziali e i coefficienti sui carichi, l'equazione precedente diventa:

$$W \cdot \text{sen}\beta \cdot (1 - c) / \gamma_{RW} + R \geq W \cdot (\text{sen}\beta + c \cdot \cos\beta) \cdot \gamma_{DW}$$

In cui i due coefficienti valgono rispettivamente:

$$\gamma_{RW} = \gamma_T \cdot \gamma_W \cdot \gamma_B$$

$$\gamma_{DW} = \gamma_{MO} \cdot \gamma_{OL}$$

Nelle espressioni precedenti i tre termini γ_T , γ_W e γ_B sono i coefficienti parziali che tengono conto delle incertezze connesse alla definizione dello spessore dello strato instabile ($\gamma_T = 1.20 \div 1.30$), del peso dell'unità di volume della roccia ($\gamma_W = 1.00 \div 1.05$) e del comportamento della roccia ($\gamma_B = 1.00 \div 1.05$), mentre i due termini γ_{MO} e γ_{OL} sono i coefficienti parziali sulle azioni che tengono conto rispettivamente delle incertezze sulla morfologia del pendio ($\gamma_{MO} = 1.10 \div 1.30$) e sul possibile carico esterno, come neve o ghiaccio o la vegetazione che cresce sulla scarpata ($\gamma_{OL} = 1.00 \div 1.20$).

La tabella successiva fornisce alcune indicazioni in merito alla scelta dei vari coefficienti:

Il coefficiente di sicurezza del chiodo è definito come:

$$FS_{nail} = \frac{FS_{SLP}}{FD_{SLP}} \geq 1.0$$

In cui FS_{SLP} è la forza stabilizzante totale agente sul sistema e FD_{SLP} è la forza instabilizzante totale agente sul piano di scorrimento:

$$FS_{SLP} = W \cdot \text{sen}\beta \cdot (1 - c) / \gamma_{RW} + R$$

$$FD_{SLP} = W \cdot (\text{sen}\beta + c \cdot \cos\beta) \cdot \gamma_{DW}$$

Tabella 11-5 Coefficienti parziali per azioni stabilizzanti e instabilizzanti

Partial/Load factor	Description	Value
γ_r	If the superficial instability thickness is defined by:	
	- geomechanical survey: - rough/visual estimation:	1.20 1.30
γ_w	If the rock unit weight is:	
	- homogeneous: - not-homogeneous (i.e. flysh):	1.00 1.05
γ_b	If the rock:	
	- does not present any anomalous behavior (i.e. compact rock): - is subjected to erosion and/or environmental condition that can create weakness of the rock mass (i.e. weathering rock):	1.00 1.05
γ_{MO}	If the morphology of the rock is:	
	- regular (the mesh lies in better contact with the slope, thus the rock movement are limited): - rough (the mesh cannot be in adherence with the slope, thus the unstable block can easily move):	1.10 1.30
γ_{OL}	If there are/are not external loads acting on the system:	
	- not significant loads are applied: - additional external loads are applied (i.e. snow, ice, vegetation, etc.)	1.00 1.20

11.2.1.2 Dimensionamento della lunghezza del chiodo

La seconda parte del dimensionamento del chiodo riguarda la minima lunghezza dell'ancoraggio, che è definita come:

$$L_{tot} = L_S + L_I + L_P$$

dove:

L_S : minima lunghezza della barra nella porzione di roccia stabile;

L_I : minima lunghezza della barra nella porzione di roccia instabile;

L_P : lunghezza della parte plasticizzata dell'ammasso roccioso instabile.

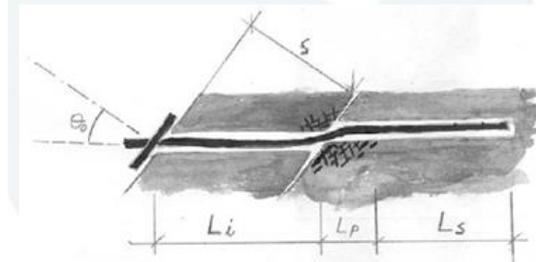


Figura 11-1 Lunghezza di ancoraggio del chiodo

Il primo termine è calcolato con la formula di Bustamante e Doix (1985):

$$L_s = \frac{P}{\pi \cdot \phi_{drill} \cdot \tau_{lim} / \gamma_{GT}}$$

in cui:

ϕ_{drill} : diametro della perforazione;

P: massima forza di trazione agente sull'ancoraggio per l'instabilità del blocco (Prock);

τ_{lim} : tensione tangenziale limite all'interfaccia tra la malta e la roccia;

γ_{GT} : coefficiente di sicurezza sull'adesione malta-roccia.

$$P = (FS_{SLP} + R - FD_{SLP}) \cdot \cos(\beta + \theta_0)$$

La massima lunghezza nella parte instabile L_I è valutata come:

$$L_I = \frac{S}{\cos \epsilon} \cdot \gamma_{DW}$$

La parte plasticizzata è generalmente assunta pari a 10-50 cm a seconda delle caratteristiche dell'ammasso roccioso. I valori suggeriti sono i seguenti: 0.15-0.25 per rocce tenere, 0.25-0.45 per rocce molto tenere 0.25-0.50 per rocce molto fratturate.

12 VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO

12.1 Verifiche di stabilità delle scarpate

Sono state verificate le seguenti sezioni:

- Sez. 1: scavo provvisorio galleria Monte Martis imbocco lato Bonorva;
- Sez. 2: scavo provvisorio galleria Monte Martis imbocco lato Chilivani;

12.1.1 Input del modello di calcolo

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno degli imbocchi si è fatto riferimento a quanto riportato nei paragrafi precedenti contenenti i parametri geotecnici definiti a partire dai risultati delle indagini geognostiche.

I parametri geotecnici assunti per le verifiche di stabilità sono sintetizzati nella tabella seguente:

Tabella 12-1 Parametri geotecnici caratteristici (k) e di progetto (M2)

Materiale	γ [kN/m ³]	Φ_k [°]	Φ_{M2} [°]	c'_k [kPa]	c'_{M2} [kPa]
Unità b2 Coltre eluvio-colluviale	19	30	24.8	40	32
Unità IGR Ignimbrite	20	45.8	39.4	183	146.4

12.1.2 Analisi dei carichi

Nelle verifiche di stabilità degli imbocchi, si è considerato un carico variabile che corrisponde ad un sovraccarico da cantiere e/o da traffico pari a 20 kPa. Questo carico è collocato a monte dell'opera di imbocco ed è distante dal ciglio di scarpata di un metro ed è largo circa 5 m. Nelle verifiche di stabilità dell'imbocco nord questo carico non è stato considerato data l'elevata pendenza del pendio a monte dell'imbocco.

Nelle analisi statiche il sovraccarico di progetto è stato calcolato in accordo col coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tabella 5.2V D.M. 2008. Perciò il valore di calcolo del calcolo è il seguente:

$$q_d = q_f \gamma_{Qi} = 20 \text{ kPa} \times 1.3 = 26 \text{ kPa}$$

Nelle analisi sismiche il coefficiente di combinazione da utilizzare è $\psi_{2,i}$ pari a 0.2, come riportato nei criteri di dimensionamento e verifiche degli imbocchi con berlinesi D.M. 2008.

$$q_d = q_k \psi_{2,i} = 20 \text{ kPa} \times 0.2 = 4 \text{ kPa}$$

Le azioni sismiche pseudo-statiche sono state definite secondo i criteri sopradescritti nel paragrafo § 8.4 e i parametri ottenuti sono sintetizzati nella seguente tabella:

Tabella 12-2 Parametri sismici

<i>SUOLO</i>	<i>TOPOGRAFIA</i>	<i>PARAMETRI SISMICI</i>			
		<i>ag</i>	<i>SS</i>	<i>ST</i>	<i>ag_{max}</i>
		(g)	(-)	(-)	(-)
A	T4	0,045	1	1,4	0,063

da cui:

$$\beta_s = 0.2$$

$$F_h = \beta_s a_g S_S S_T W = k_h W = 0,0126W$$

$$F_v = \pm 0.5 F_h = k_v W = \pm 0,0063 W$$

12.1.3 Risultato dei calcoli

Le analisi di stabilità sono state effettuate sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, in presenza di falda. Per tutte le verifiche si è adottato il metodo dell'equilibrio limite di Janbu.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nella tabella seguente e nelle successive figure.

Tabella 12-3 - Coefficienti di sicurezza in condizioni statiche e sismiche

<i>IMBOCCO</i>	<i>CONDIZIONI</i>	<i>ANALISI</i>	<i>RISULTATI FS^{MIN}</i>
Galleria Monte Martis Imbocco Sud	Statiche	Stabilità globale	3,287
		Stabilità locale	3,301
	Sismiche	Stabilità globale	3,423
		Stabilità locale	3,425
Galleria Monte Martis Imbocco Nord	Statiche	Stabilità globale	2,136
		Stabilità locale	2,474
	Sismiche	Stabilità globale	2,081
		Stabilità locale	2,423

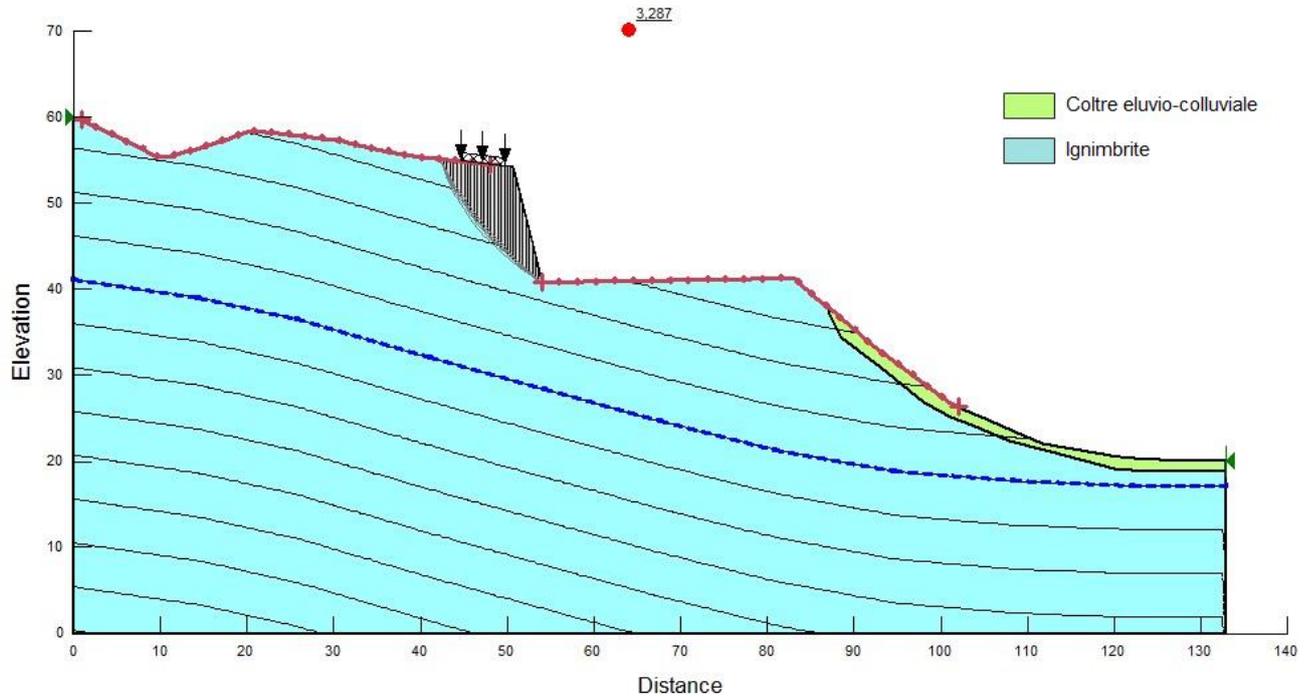


Figura 12-1 Analisi di stabilità globale (Galleria Monte Martis – imbocco sud – condizioni statiche)

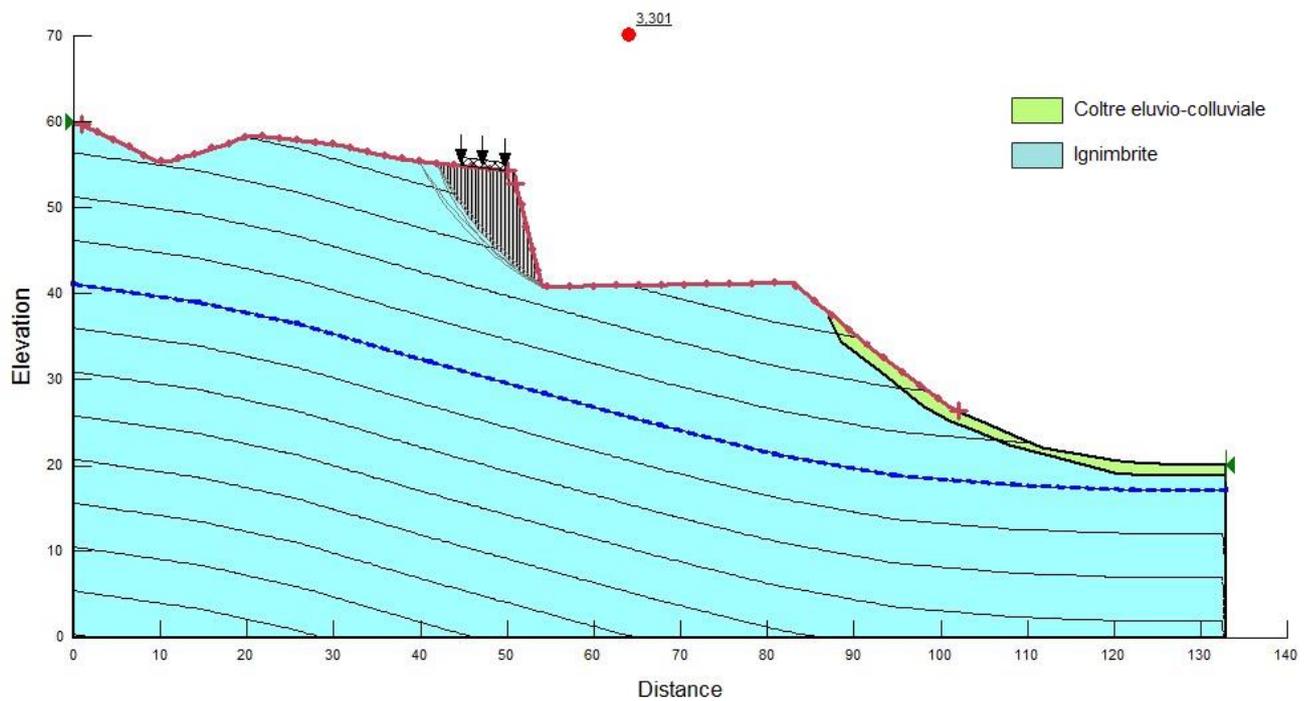


Figura 12-2 Analisi di stabilità locale (Galleria Monte Martis – imbocco sud – condizioni statiche)

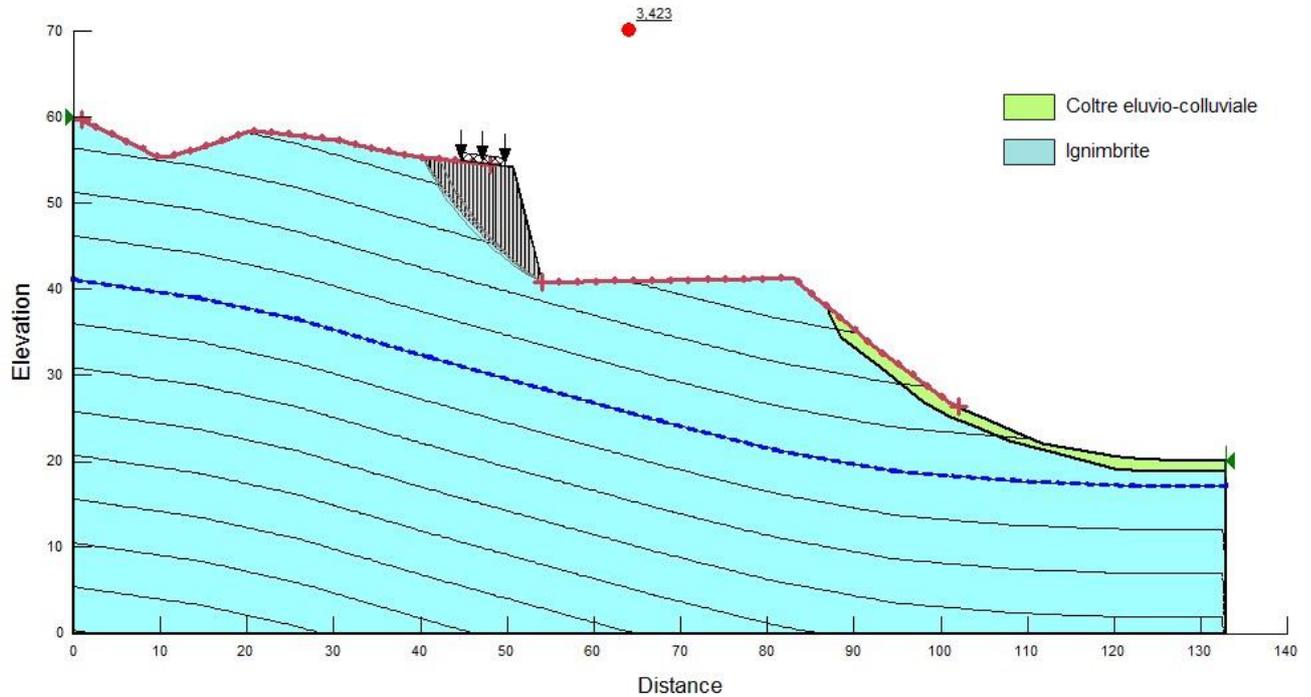


Figura 12-3 Analisi di stabilità globale (Galleria Monte Martis – imbocco sud – condizioni sismiche)

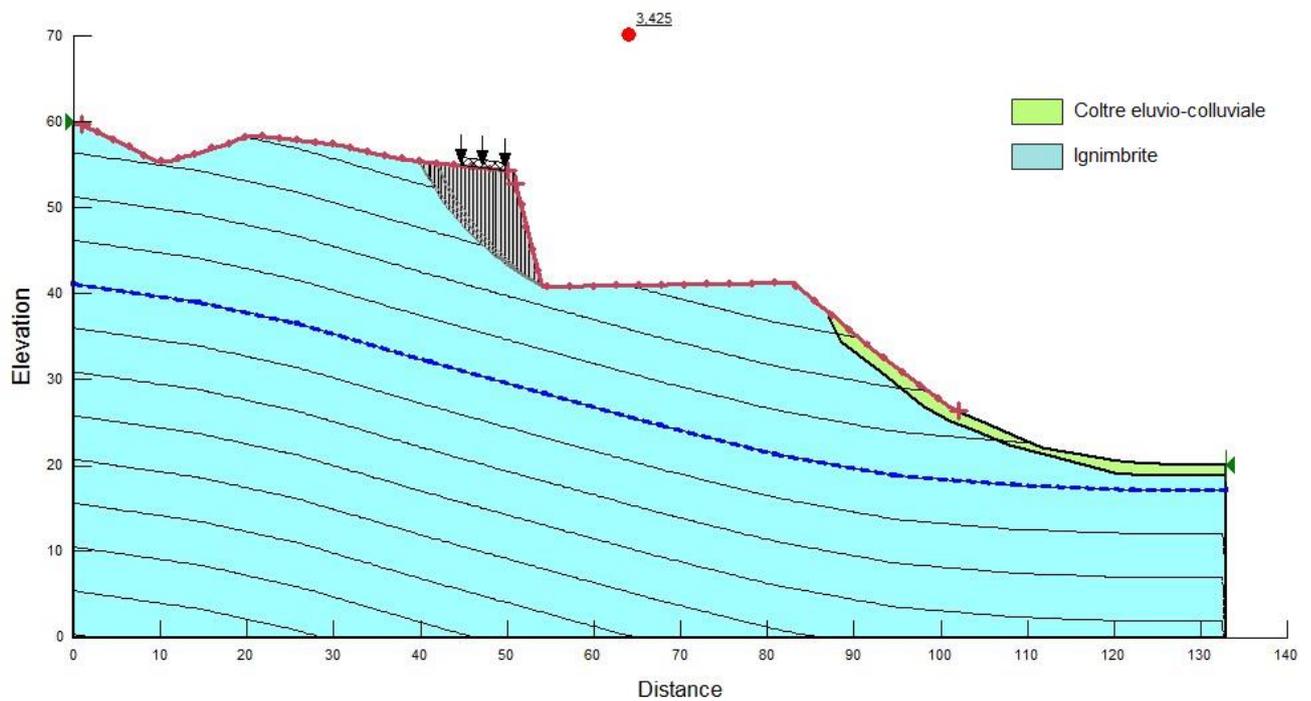


Figura 12-4 Analisi di stabilità locale (Galleria Monte Martis – imbocco sud – condizioni sismiche)

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	34 di 42

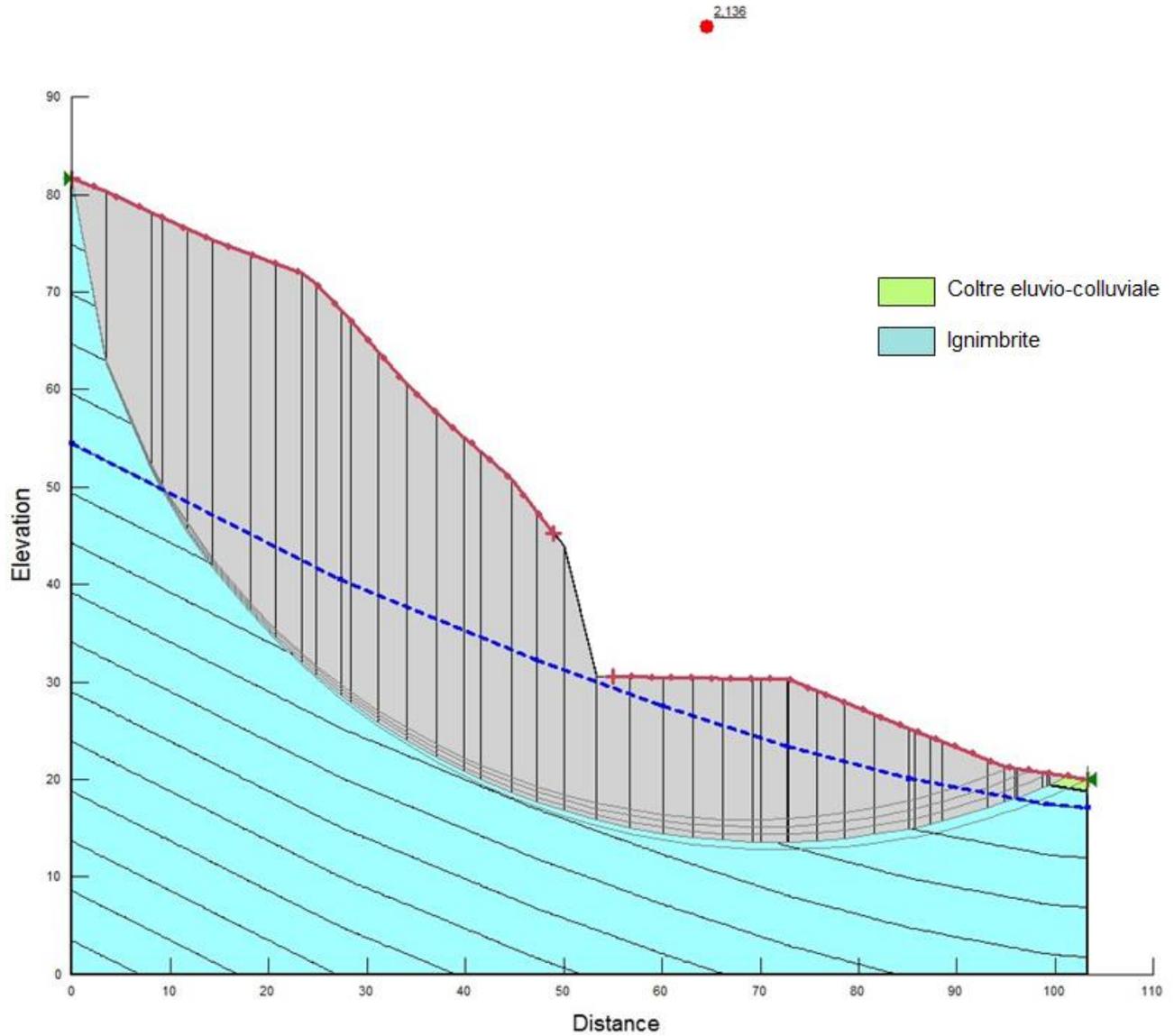


Figura 12-5 Analisi di stabilità globale (Galleria Monte Martis – imbocco nord – condizioni statiche)

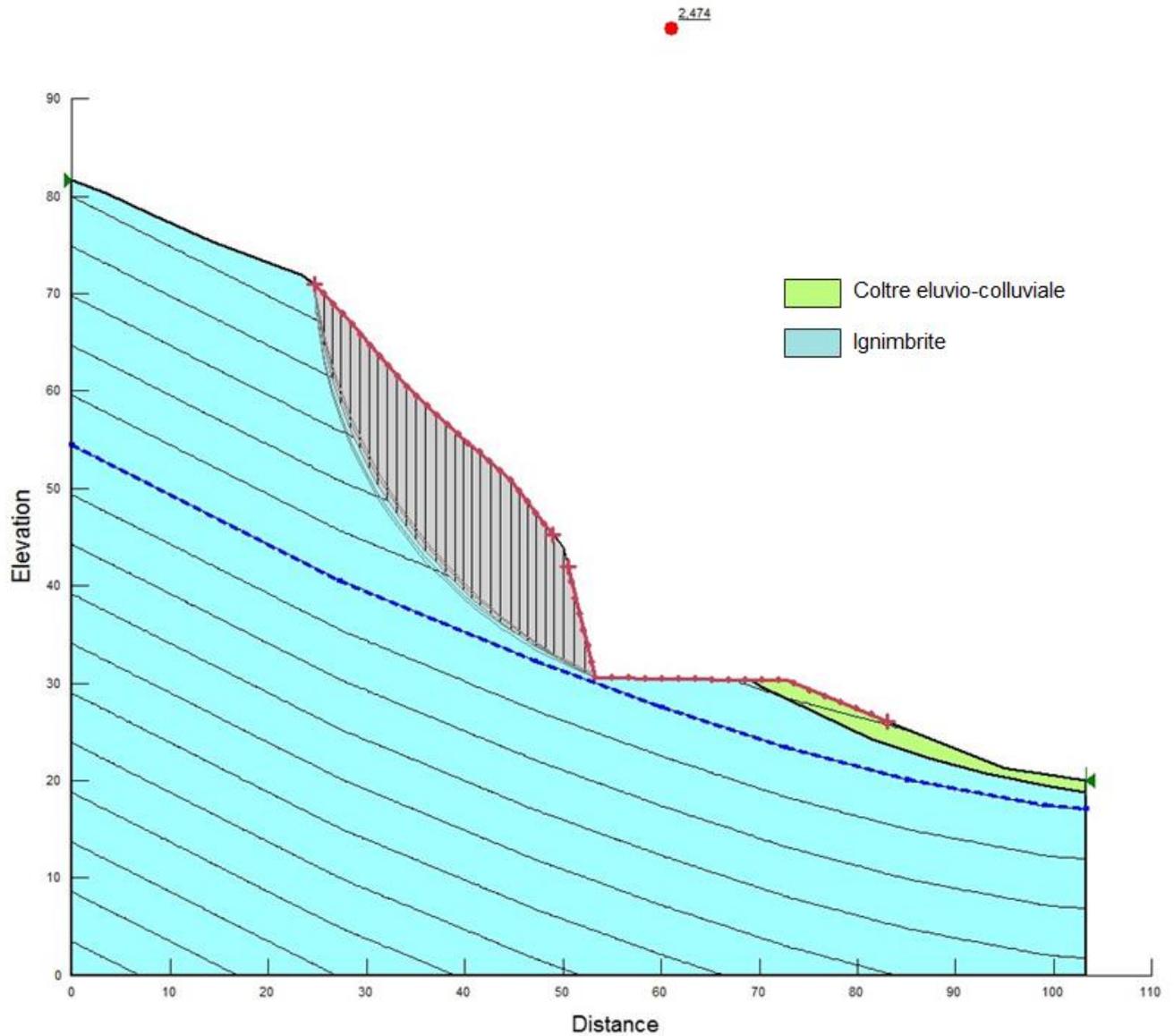


Figura 12-6 Analisi di stabilità locale (Galleria Monte Martis – imbocco nord – condizioni statiche)

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	36 di 42

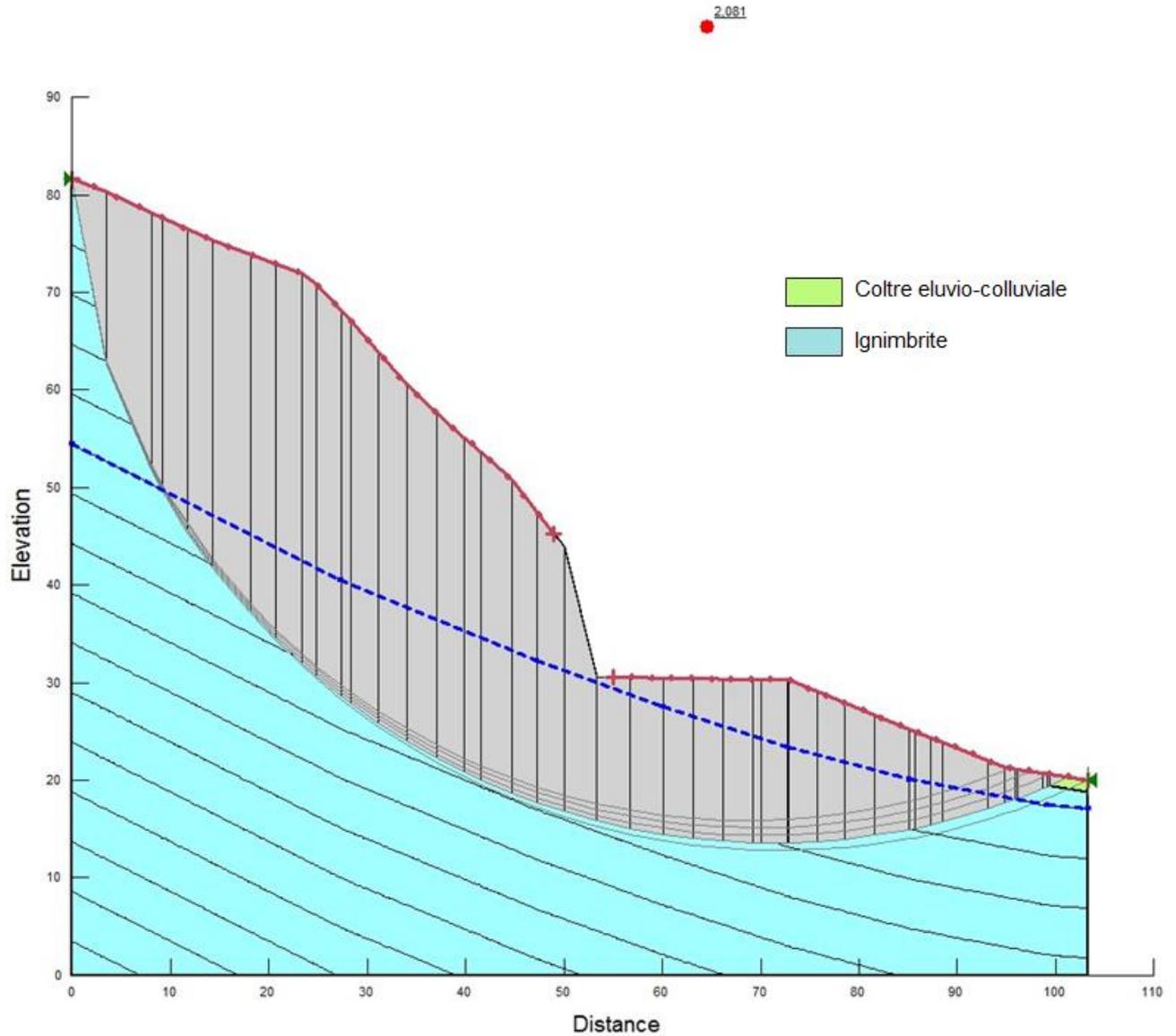


Figura 12-7 Analisi di stabilità globale (Galleria Monte Martis – imbocco nord – condizioni sismiche)

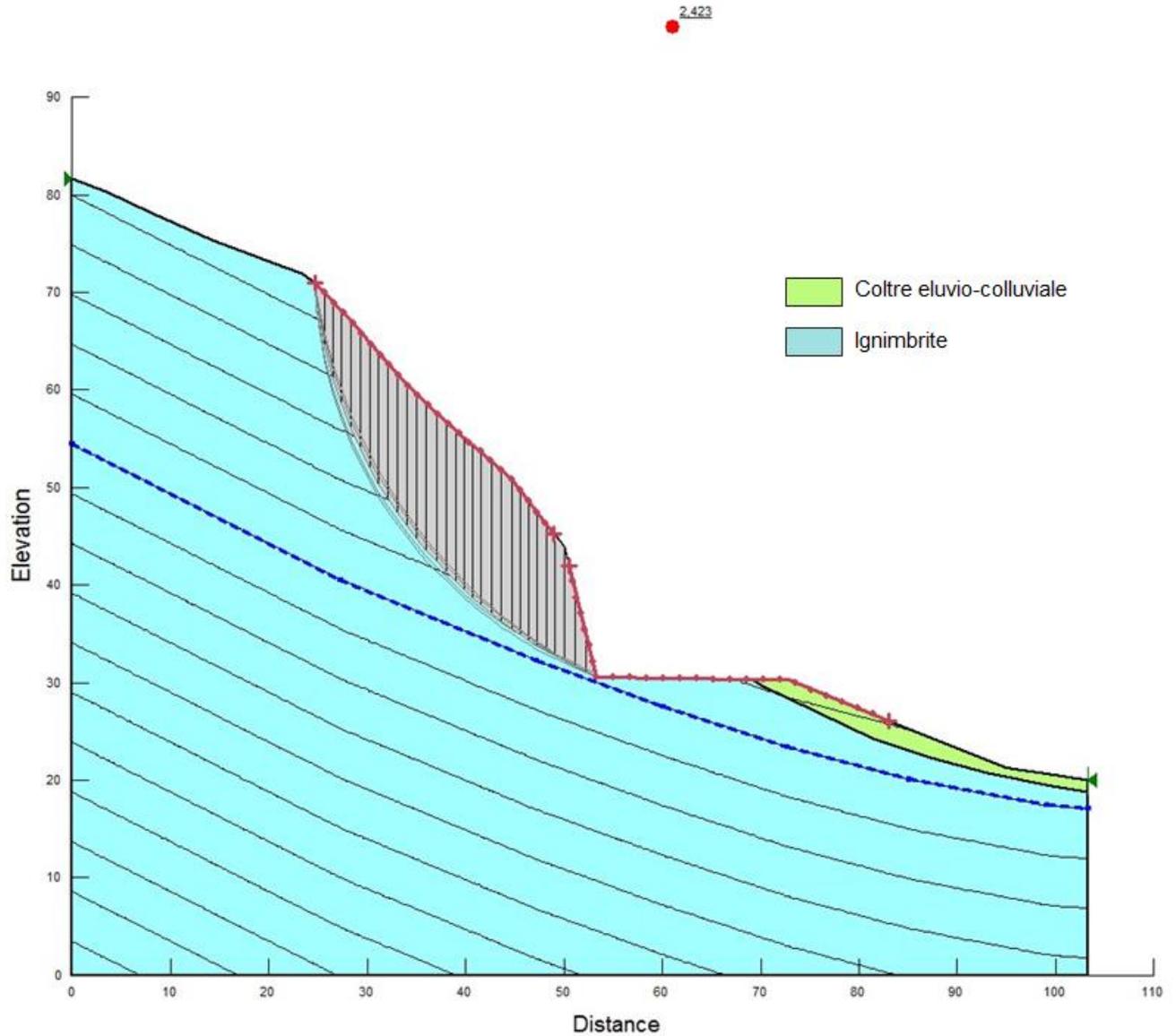


Figura 12-8 Analisi di stabilità locale (Galleria Monte Martis – imbocco nord – condizioni sismiche)

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	38 di 42

12.2 Rafforzamenti corticali

Nelle tabelle seguenti sono riportati i calcoli di dimensionamento della bullonatura passiva riferiti alla sezione di massima altezza della galleria Monte Martis imbocco sud lato Bonorva.

L'intervento di protezione prevede l'impiego di uno strato di spritz beton dello spessore di 15 cm e una bullonatura passiva con barre $\phi 28$ di lunghezza pari a 4.0 m disposte a maglia 2.0 m x 2.0 m, nell'ipotesi di uno spessore medio della parte corticale allentata di 2.0 m, ipotesi basata sull'esame delle condizioni dell'affioramento osservate in sito e sulle indicazioni fornite nella relazione geologica.

Tabella 12-4 – Dimensionamento della bullonatura passiva
LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA - Galleria Monte Martis
DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE
Dati di input
Geometria della scarpata

<i>inclinazione media scarpata</i>	β	76	[°]
<i>spessore medio zona corticale</i>	s	2,0	[m]
<i>coefficiente parziale azioni - morfologia</i>	γ_{MO}	1,10	[-]
<i>coefficiente parziale azioni - carico esterno</i>	γ_{OL}	1,20	[-]
<i>coefficiente parziale azioni</i>	γ_{DW}	1,32	[-]

Maglia chiodi

<i>interasse orizzontale</i>	i_x	2,0	[m]
<i>interasse verticale</i>	i_y	2,0	[m]

Caratteristiche dell'ammasso roccioso

<i>coefficiente sismico orizzontale</i>	c	0,06	[-]
<i>peso unità volume roccia</i>	γ	20,0	[kN/m ³]
<i>coefficiente parziale resistenze - spessore</i>	γ_T	1,30	[-]
<i>coefficiente parziale resistenze - peso</i>	γ_W	1,00	[-]
<i>coefficiente parziale resistenze - comportam</i>	γ_B	1,00	[-]
<i>coefficiente parziale resistenze</i>	γ_{RW}	1,30	[-]

Caratteristiche del giunto critico

<i>inclinazione del giunto</i>	α	15	[°]
<i>resistenza compressione monoassiale giunto</i>	JCS ₀	4,7	[MPa]
<i>rugosità giunto</i>	JRC ₀	16,0	[-]
<i>lunghezza giunto</i>	L ₀	0,10	[m]
<i>lunghezza piano di scivolamento</i>	L _G	2,00	[m]

Dati chiodo

<i>angolo tra la barra e la normale al piano di scor</i>	θ_0	0	[°]
<i>diametro nominale</i>	ϕ	28,0	[mm]
<i>spessore corrosione</i>	t_c	0,00	[mm]
<i>tensione snervamento dell'acciaio</i>	σ_{st}	450,0	[N/mm ²]
<i>coefficiente parziale acciaio</i>	γ_{st}	1,15	[-]
<i>adesione malta-roccia</i>	τ_{lim}	0,35	[MPa]
<i>coefficiente parziale per adesione malta-roccia</i>	γ_{GT}	1,98	[-]
<i>diametro della perforazione</i>	ϕ_{drill}	70,0	[mm]

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	40 di 42

LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA - Galleria Monte Martis

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Dimensionamento chiodi

Calcolo del contributo stabilizzante chiodo

$$R = A_{\text{eff}} \cdot \sigma_{\text{adm}} \cdot \frac{1 + \tan^{-2}(\varepsilon + \delta)}{\sqrt{\frac{16}{1 + \tan^{-2}(\varepsilon + \delta)} + 4}}$$

volume blocco instabile	V	8	[m ³]
peso blocco instabile	W	160	[kN]
inclinazione del chiodo rispetto all'orizzontale	ε	14	[°]
resistenza compressione monoassiale giunto	JCS	1,1	[MPa]
rugosità giunto	JRC	6,135	[-]
tensione media sulla superficie di scorrimento	σ_{plan}	38,64	[kPa]
dilatanza lungo il giunto critico	δ	2,98	[°]
area del chiodo	A_{eff}	615,8	[mm ²]
tensione snervamento progetto dell'acciaio	σ_{adm}	391,3	[N/mm ²]
contributo resistente chiodo	R	162,30	[kN]

Verifica a taglio del chiodo

$$FS_{SLP} = W \cdot \text{sen}\beta \cdot (1 - c) / \gamma_{RW} + R$$

$$FS_{SLP} = W \cdot (\text{sen}\beta + c \cdot \text{cos}\beta) \cdot \gamma_{DW}$$

$$FS_{\text{nail}} = \frac{FS_{SLP}}{FS_{SLP}} \geq 1.0$$

forza stabilizzante	FS_{SLP}	274,2	[kN]
forza instabilizzante	FD_{SLP}	208,1	[kN]
coefficiente sicurezza chiodo	FS_{nail}	1,317	[kN]

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	41 di 42

LINEA SAN GAVINO - SASSARI - OLBIA - Galleria Monte Martis

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Lunghezza dell'ancoraggio

Verifica allo sfilamento del chiodo

$$L_S = \frac{P}{\pi \cdot \phi_{drill} \cdot \tau_{lim} / \gamma_{GT}}$$

$$P_{rock} = (FS_{SLP} + R - FD_{SLP}) \cdot \cos(\beta + \theta_0)$$

$$L_I = \frac{S}{\cos \varepsilon} \cdot \gamma_{DW}$$

massima forza chiodo	P_{rock}	55,2	[kN]
massima forza sfilamento	P	56,5	[kN]
lunghezza tratto stabile	L_S	1,5	[m]
lunghezza tratto instabile	L_I	2,7	[m]
lunghezza tratto plasticizzato	L_p	0,5	[m]
lunghezza ancoraggio	L	4,1	[m]

GALLERIA MONTE MARTIS - RELAZIONE
GEOTECNICA E DI CALCOLO DELLE OPERE DI
IMBOCCO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR0H	04	D 07 CL	GA 00 00 001	A	42 di 42

12 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse con la realizzazione delle opere di imbocco della galleria Monte Martis nell'ambito del progetto definitivo di Velocizzazione della linea San Gavino – Sassari – Olbia – Variante Bonorva.

Per le situazioni ritenute più critiche e rappresentative sono state condotte le verifiche delle soluzioni progettuali proposte. Le verifiche effettuate hanno evidenziato tensioni nei materiali adottati inferiori ai valori di Normativa.