REGIONE LIGURIA
Dipartimento Programmi Regionali,
Porti, Trasporti, Lavori Pubblici ed Edilizia
Settore Progetti Infrastrutture Viabilità
Porti e Logistica

Anas S.p.A.
Direzione Centrale Progettazione

InfrastruttureLiguria
GRUPPO FILSE

CONVENZIONE DEL 14 SETTEMBRE 2009 TRA REGIONE LIGURIA E INFRASTRUTTURE LIGURIA S.R.L. PER LA REALIZZAZIONE DI ATTIVITÀ PER L'ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DI STUDI E PROGETTAZIONI INFRASTRUTTURALI STRATEGICHE

Oggetto:

VARIANTE DI TRACCIATO ALLA S.S.1 AURELIA – CAPO NOLI
PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO IMBOCCO LATO FINALE

Doc. n: 02A\DEF\STR\R004

Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
01	15-11-2011	*8*	*41*	VP	FB	SB	Per Emissione
02	20-07-2012	*8*	*41*	VP	FB	SB	Per Emissione

Spazio riservato alla codifica ANAS

CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
DP GE05 D 11 01	T 00 GN 03 GET RE 01	*Ing. Nicola Dinnella*

INDICE

1	**INTRODUZIONE**	**4**
2	**NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI**	**5**
2.1	SOFTWARE UTILIZZATO	5
3	**GEOMETRIA E TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO**	**6**
4	**PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI LITOTIPI**	**8**
5	**CARATTERISTICHE E VERIFICHE DELLE CHIODATURE**	**8**
5.1	PROPRIETÀ DELLE BARRE IN ACCIAIO	8
5.2	DIAMETRO DEI FORI	8
5.3	VERIFICA A SFILAMENTO DELLE CHIODATURE	8
5.4	PROPRIETÀ DELLE BARRE IN VETRORESINA	10
6	**DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA**	**11**
7	**VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE**	**12**
7.1	VERIFICHE IN FASE COSTRUTTIVA	12
7.2	VERIFICHE IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO	13
8	**CONCLUSIONI**	**14**

FIGURE:

Figura 1: Sezioni di calcolo

Figura 2: Sezione A: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi

Figura 3: Sezione B: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi

Figura 4: Sezione C: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi

TABELLE:

Tabella 1: Sintesi dei parametri fisico-meccanici adottati nei calcoli (valori caratteristici)

Tabella 2: Fase costruttiva: sintesi delle analisi di stabilità

Tabella 3: Condizioni di esercizio: sintesi delle analisi di stabilità

APPENDICI:

Appendice A: Sezione A: figure relative alle analisi di stabilità globale

Appendice B: Sezione B: figure relative alle analisi di stabilità globale

Appendice C: Sezione C: figure relative alle analisi di stabilità globale

1 INTRODUZIONE

La presente Relazione di calcolo è parte integrante del progetto definitivo per la realizzazione dell' Imbocco Lato Finale, nell'ambito del "Progetto variante di tracciato alla S.S.1 Aurelia – Capo Noli" da realizzare nel Comune di Noli (SV).

In corrispondenza di detto imbocco, che costituisce il fronte in uscita della Galleria e che si sviluppa planimetricamente in direzione non ortogonale all'asse longitudinale della galleria in corrispondenza dello stesso, il progetto prevede una significativa riprofilatura del versante in roccia esistente e l'esecuzione di uno scavo verticale - di altezza variabile tra circa 14 e 30 m. Al fine di garantire la stabilità e la sicurezza del versante nella sua nuova conformazione, è previsto un intervento di consolidamento che si estende lungo tutte le pareti interessate dallo scavo ed è essenzialmente costituito da un sistema di ancoraggi di tipo passivo (chiodature). L'intervento di chiodatura interessa anche una porzione di pendio antistante l'imbocco. In questo tratto, per uno sviluppo complessivo di circa 52 m, il progetto prevede l'esecuzione di uno scavo verticale - di altezza variabile tra circa 3.5 e 28 m.

La presente relazione riguarda il progetto e il dimensionamento di detto sistema di chiodature passive, nonché la sua verifica in condizioni provvisorie e in quelle di esercizio. Il litotipo interessato dall'imbocco è costituito essenzialmente da calcari, e le caratteristiche geo-meccaniche dell'ammasso rendono estremamente efficace l'intervento previsto per la stabilizzazione definitiva del pendio, senza la necessità di eseguire ulteriori opere di sostegno integrative.

Ciò premesso, gli scopi della presente Relazione possono essere sintetizzati come segue:

- dimensionare il sistema di chiodatura del tratto di versante interessato dall'imbocco;
- verificare la stabilità globale del versante in presenza del sistema di chiodatura, in fase costruttiva e in quella di esercizio.

Nella relazione vengono inoltre sinteticamente descritte le proprietà dei differenti materiali e i metodi di calcolo utilizzati per le verifiche di sicurezza.

2 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – " Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – " Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Circolare LL.PP. 14 Febbraio 1974 n° 11951 – "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica – Istruzioni per l'applicazione";
- Legge 2 Febbraio 1974 n. 64 – "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- CNR 10024/84 del 23.11.1984 – "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo";
- D.M. LL.PP. 14 Gennaio 2008 - "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 2 Febbraio 2009, n. 617 - "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008"Testo in stile "Normale".

2.1 SOFTWARE UTILIZZATO

- Slope/W. Programma per l'analisi di stabilità dei pendii. GEO-SLOPE International Ltd (Calgary, Alberta, Canada).

3 GEOMETRIA E TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO

Sono state scelte tre sezioni di calcolo caratterizzate dalle maggiori altezze di scavo e ordini di chiodature passive (pari a 7 – 8 – 11); le analisi di stabilità condotte per tali sezioni, ritenute le più gravose, possono essere considerate rappresentative per tutto l'imbocco in esame. In dettaglio, le sezioni di calcolo analizzate sono le seguenti:

- Sezione A, caratterizzata dalla massima altezza di scavo di 29.6 m e ubicata all'imbocco, in cui sono previsti 11 ordini di chiodi;
- Sezione B, ubicata sulla porzione di pendio antistante l'imbocco, con altezza di scavo di 23 m, in cui sono previsti 7 ordini di chiodi;
- Sezione C, anch'essa ubicata sulla porzione di pendio antistante l'imbocco, caratterizzata da un'altezza di scavo pari a 26 m e da 8 ordini di chiodi.

Come citato nelle premesse, il progetto prevede un intervento di consolidamento attraverso l'esecuzione di un sistema di chiodature passive in barre di acciaio (Φ40), diffuse lungo tutte le pareti rocciose in corrispondenza dell'area di imbocco; a tale sistema è affidato il mantenimento di adeguate condizioni di equilibrio del versante, sia in condizioni provvisorie che in quelle definitive.

Dopo un'attenta valutazione di possibili soluzioni progettuali alternative, è apparso più conveniente e affidabile ricorrere ad ancoraggi di tipo passivo, piuttosto che a tiranti pretesi. Questa soluzione, infatti, presenta i seguenti vantaggi fondamentali:

- gli ancoraggi sono costituiti da barre di acciaio di notevole spessore e protetti da una corona circolare di malta cementizia (copriferro), anch'essa di spessore considerevole. La resistenza alla corrosione di questi elementi strutturali è quindi decisamente superiore rispetto ai tiranti attivi;
- gli ancoraggi sono di tipo "passivo", e pertanto saranno sollecitati soltanto se - quando - laddove - se ne manifesti l'effettiva necessità (es. azione sismiche);
- i tassi di lavoro dei materiali costituenti l'ancoraggio, nonché quelli delle rocce di fondazione dell'ancoraggio, sono ben minori di quelli caratteristici dei tiranti a trefoli attivi;
- l'iniezione avviene con un'unica soluzione lungo l'intera lunghezza del foro; ciò consente alla miscela di iniezione di riempire e consolidare fratture ed eventuali cavità, anche in prossimità della superficie del versante;
- il numero di chiodature passive è superiore a quello di tiranti pretesi, il che implica una migliore diffusione delle forze esercitate dai chiodi ed una minore necessità di elementi di ripartizione di dette forze (travi di collegamento, piastre di placcaggio e/o di testa);
- gli spostamenti necessari a mobilitare la piena resistenza dell'ancoraggio sono comunque modesti, e verosimilmente dell'ordine di alcuni millimetri.

Infine, le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08) prescrivono, per i tiranti attivi impiegati con funzione permanente, la predisposizione di un piano di monitoraggio per verificare il comportamento dell'ancoraggio nel tempo, nonché la possibilità di successivi interventi di regolazione e/o sostituzione. Non avendo certezza sul soddisfacimento di questi requisiti durante la vita utile degli ancoraggi diventa opportuno ricorrere ad ancoraggi di tipo passivo per l'imbocco in questione.

La natura dell'ammasso roccioso interessato dalle opere di imbocco, che appartiene alla formazione dei calcari, consente un impiego efficace degli elementi di ancoraggio passivi per la stabilizzazione del versante; i chiodi passivi garantiscono infatti il consolidamento dei fronti di scavo anche in condizioni sismiche e senza necessità di

ulteriori strutture di sostegno integrative. Oltre alle chiodature passive, il progetto prevede di collegare le teste dei chiodi con un reticolo di funi di acciaio avente la funzione di contenere eventuali distacchi localizzati di blocchi di roccia, ripartendo lo sforzo necessario sul maggior numero possibile di chiodature.

Al fine di ottimizzare l'intervento di chiodatura l'interasse orizzontale/verticale tra i chiodi è stato diversificato a seconda della posizione dell'intervento:

- in corrispondenza della parete di imbocco è previsto un interasse orizzontale di 2.0 m e un interasse verticale di 2.5 m (v. Sezione A);
- in corrispondenza della porzione di pendio antistante l'imbocco è previsto un interasse orizzontale di 2.5 m e un interasse verticale di 3.0 m (v. Sezioni B e C).

Al fine di ottimizzare la struttura sono previste inoltre tipologie di chiodi passivi diverse per lunghezze e inclinazioni. In corrispondenza del cavo della galleria inoltre, le chiodature passive in acciaio sono sostituite da chiodi in vetroresina, che saranno demoliti con l'arrivo dell'avanzamento del fronte di scavo. Rimandando alle tavole di progetto per una completa descrizione dell'intervento, nella Figura 1 sono mostrate schematicamente le diverse sezioni di calcolo esaminate nelle verifiche di sicurezza.

4 PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI LITOTIPI

Il litotipo interessato dall'imbocco è costituito da calcari (v. Tavola T015 - Profilo Geomeccanico - del Progetto Preliminare).

Ai fini della presente relazione di calcolo e delle relative verifiche, è sufficiente evidenziare che per il litotipo interessato sono stati assunti i parametri fisico-meccanici sintetizzati in Tabella 1. Si evidenzia che i parametri meccanici adottati in corrispondenza dell'imbocco risultano piuttosto conservativi; in questa fase, tale scelta si è resa opportuna per tenere conto del fatto che generalmente le caratteristiche meccaniche della roccia affiorante sono inferiori a quelle dell'ammasso.

5 CARATTERISTICHE E VERIFICHE DELLE CHIODATURE

Nel presente capitolo vengono descritte alcune caratteristiche geometriche e meccaniche delle chiodature passive. Vengono inoltre sinteticamente riportate alcune verifiche di sicurezza degli stessi ancoraggi.

5.1 PROPRIETÀ DELLE BARRE IN ACCIAIO

Le chiodature permanenti di tipo passivo a sostegno dei fronti di scavo sono realizzate con barre Φ40 di acciaio B450C, aventi le seguenti proprietà:

f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento = 450 MPa;

A_s = area della barra di acciaio = 1257 mm^2;

F_{yk} = forza caratteristica di snervamento di una barra = $f_{yk} A_s$ = 565.5 kN.

La resistenza di calcolo dell'acciaio è stata determinata assumendo cautelativamente un coefficiente di sicurezza parziale sulla resistenza del materiale (γ_S) pari a 1.3, lievemente maggiore di quello minimo imposto dalle NTC08; la forza di snervamento di calcolo F_{yd} di una barra risulta pertanto:

$$F_{yd} = \frac{F_{yk}}{\gamma_S} = \frac{565.5}{1.3} = 435 \text{ kN}.$$

5.2 DIAMETRO DEI FORI

Il diametro previsto per i fori delle chiodature è pari a 12.5 cm, vale a dire, sensibilmente maggiore del diametro delle barre di acciaio. Tale diametro è stato adottato al fine di:

- minimizzare le deviazioni dalla inclinazione prescritta per gli ancoraggi;
- facilitare il centramento delle barre all'interno del foro;
- fornire una adeguata protezione dalla corrosione (copriferro), incrementando così la durabilità dell'intervento.

5.3 VERIFICA A SFILAMENTO DELLE CHIODATURE

La lunghezza minima della fondazione dell'ancoraggio, L_{Fmin}, è stata determinata imponendo, secondo il principio

della gerarchia delle resistenze, che la barra d'acciaio costituente l'armatura dell'ancoraggio raggiunga lo snervamento prima dello sfilamento del chiodo rispetto alla roccia circostante. A tal fine, occorre innanzitutto valutare la resistenza tangenziale (a_k) all'interfaccia tra la roccia e la superficie laterale del chiodo iniettato. Considerato che i chiodi in esame sono iniettati per tutta la loro lunghezza in un'unica soluzione, il valore caratteristico di a_k è stato valutato avvalendosi del metodo di Bustamante e Doix (1985), ottenendo:

a_k = 500 kPa

Tale valore, che ricade nel campo medio suggerito dagli Autori per rocce alterate e fratturate, è ritenuto lievemente conservativo e dovrà comunque essere validato, in sede di progettazione esecutiva, da prove di sfilamento in vera grandezza da eseguire in prossimità dell'imbocco in esame.

La lunghezza minima della fondazione dell'ancoraggio vale pertanto:

$$L_{F\,min} = \frac{F_{yk}}{\pi\, d\, a_d}$$

ove: d = diametro della perforazione = 12.5 cm;

a_d = resistenza tangenziale di calcolo all'interfaccia chiodo-roccia,

ed il valore di a_d è ottenuto dividendo il valore caratteristico a_k per il coefficiente parziale di sicurezza sui materiali (γ_M=1.25). Con i valori delle grandezze su elencati, si ottiene in definitiva:

$$L_{F\,min} = \frac{F_{yk}}{\pi\, d\, a_d} = \frac{565.5}{\pi \cdot 0.125 \cdot \frac{500}{1.25}} = 3.60\ \text{m}$$

Occorre ora verificare che, sotto l'azione di progetto, sussista un sufficiente margine di sicurezza nei confronti dello sfilamento tra chiodatura e roccia. In accordo con NTC08, tale verifica a sfilamento prevede che sia verificata la diseguaglianza:

$$R_{ad} \geq F_d$$

ove R_{ad} è la resistenza di progetto e F_{yd} = 435 kN è l'azione di progetto. Nel caso in esame risulta:

$$R_{ad} = \frac{R_{ak}}{\gamma_{Ra,p}}$$

ove: R_{ak} è la resistenza caratteristica: $R_{ak} = \frac{R_{ac}}{\xi_{a4}} = \frac{R_{ac}}{1.8}$;

$\gamma_{Ra,p}$ = 1.2 è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi permanenti.

La verifica diviene pertanto:

$$\left(\frac{L_F \cdot \pi \cdot d \cdot a_k}{1.8}\right) / 1.2 \geq F_{yd}$$

dalla quale si ottiene in definitiva: $L_F \geq 4.79$ m.

Sulla scorta delle precedenti valutazioni, nelle analisi di stabilità globale del versante condotte, con il metodo delle strisce, considerando la presenza del sistema di chiodature passivo, si assume che la lunghezza "fittizia" della fondazione dell'ancoraggio passivo sia pari a L_F = 5 m; ciò equivale ad assumere che la forza di calcolo dell'ancoraggio (F_{yd} = 435 kN) può essere interamente esplicitata fin quando la lunghezza della fondazione del chiodo è superiore a 5 m, e che per valori minori della lunghezza tale forza deve essere necessariamente ridotta.

5.4 PROPRIETÀ DELLE BARRE IN VETRORESINA

In corrispondenza del cavo della galleria le chiodature passive in acciaio sono sostituite da chiodi in vetroresina, che saranno via via demoliti con l'avvicinamento del fronte di scavo. Per il dimensionamento di tali chiodi - ed in particolare, per la scelta di una idonea sezione del chiodo - è sufficiente imporre che la forza di snervamento di calcolo F_{yd} sia pari a quella adottata per le barre di acciaio (F_{yd} = 435 kN).

6 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La determinazione dell'azione sismica è stata effettuata secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08). In accordo con la citata normativa, data l'importanza delle opere in esame, si è ritenuto opportuno considerare una vita nominale V_N delle stesse pari a 50 anni. Le opere inoltre, in relazione alle conseguenze di una eventuale interruzione di operatività causata dall'evento sismico, sono state classificate di classe d'uso III; tale scelta comporta l'assunzione di un coefficiente d'uso C_U = 1.5.

Da tali opzioni deriva il periodo di riferimento V_R per l'azione sismica:

$V_R = V_N \cdot C_U = 75$ anni.

In relazione alle prestazioni delle opere si è inoltre fatto riferimento ad uno Stato Limite Ultimo di salvaguardia della vita (SLV), a cui viene associata una probabilità di superamento P_{VR} = 10 % nel suddetto periodo di riferimento V_R di 75 anni.

Per lo Stato Limite Ultimo SLV, al valore del periodo di riferimento V_R = 75 anni corrisponde un valore del periodo di ritorno T_R = 712 anni.

Dalla Tabella in allegato alle NTC08 contenente i parametri spettrali per tutti i punti del reticolo di riferimento, per il suddetto periodo di ritorno e in corrispondenza dell'area in esame (longitudine = 8.42016 ; latitudine = 44.19840), si ottiene il seguente valore di accelerazione orizzontale massima a_g:

a_g = 0.079 g = 0.775 m/s^2

Nota l'accelerazione orizzontale massima a_g, sono stati determinati i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v, da adottare nelle analisi di stabilità:

$$k_h = \frac{a_g \cdot S_S \cdot S_T \cdot \beta_s}{g} \qquad , \; k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

ove:

- S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica assunto pari a 1.2, relativo ad una categoria di sottosuolo di tipo B, assunta cautelativamente in assenza di una campagna di indagini integrativa;
- S_T è il coefficiente di amplificazione topografica assunto pari a 1.2, corrispondente a una categoria topografica T2 (pendii con inclinazione media i > 15°);
- β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito per la stabilità dei pendii, assunto cautelativamente pari ad 1. Si evidenzia che i valori di β_s riportati nelle NTC08 per le verifiche di stabilità dei pendii corrispondono a valori degli spostamenti permanenti del fronte di scavo dell'ordine di 15 - 20 cm (v. *Rampello e Callisto (2008): Stabilità dei pendii in condizioni sismiche, in MIR 2008, Patron, Bologna*; v. *Rampello e Silvestri (2009): Force-based pseudo-static methods vs. displacement-besed methods for slope stability analysis, in Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, Napoli, E. Cosenza ed.*). Per gli scavi armati in oggetto, tali valori degli spostamenti sono ritenuti inaccettabili sia nei confronti delle opere ubicate in prossimità dei fronti di scavo, che nei confronti del comportamento degli stessi ancoraggi passivi che armano i versanti; questi ultimi elementi strutturali, in particolare, possono verosimilmente manifestare un comportamento di tipo fragile ed esibire una significativa riduzione della resistenza al crescere degli spostamenti. Pertanto, in mancanza di indicazioni specifiche dalla Normativa vigente e al fine di garantire un'adeguata prestazione dell'intero sistema, in via cautelativa si è adottato un coefficiente β_s = 1 (spostamenti nulli).

I valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale assunti nelle verifiche delle paratie risultano pertanto:

$k_h = 0.114$, $k_v = \pm 0.057$

Si evidenzia che anche nelle verifiche di stabilità relative alla fase costruttiva si è cautelativamente assunta un'azione sismica, seppur di lieve intensità. Più precisamente, le analisi di stabilità relative alla configurazione provvisoria dell'imbocco durante le fasi realizzative sono state eseguite con un'azione sismica di progetto denotata dai seguenti coefficienti:

$k_h = 0.04$, $k_v = \pm 0.02$

cui corrisponde, per il sito in esame, un tempo di ritorno del sisma T_R di circa 60 anni, ovvero una probabilità molto bassa che si verifichi un tale evento sismico durante la fase di costruzione dell'opera.

7 VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE

Le analisi di stabilità globale sono state condotte con gli usuali metodi dell'equilibrio limite (metodi delle strisce) avvalendosi del programma di calcolo SLOPE/W (Geo-Slope International, Calgary, Alberta, Canada) ed utilizzando sia il *Metodo di Bishop Semplificato* che il *Metodo General Limit Equilibrium* (GLE). I due metodi hanno sempre fornito risultati coincidenti ai fini pratici. Nel caso in esame, il codice di calcolo consente di tenere debito conto di superfici di scorrimento di forma diversa (circolari e irregolari), di eventuali sovraccarichi, e delle forze effettivamente sostenute dagli ancoraggi passivi. Per questi ultimi, in particolare, si assume che il carico sostenuto dagli ancoraggi sia pari a quello di calcolo (F_{yd} = 435 kN) allorquando il tratto di chiodo posto all'esterno della potenziale superficie di scorrimento risulta maggiore o uguale della lunghezza di fondazione fittizia (L_F = 5 m). In caso contrario il carico sostenuto dalle chiodature risulta proporzionalmente ridotto, annullandosi allorquando l'ancoraggio è posto interamente all'interno della superficie di scorrimento.

Si evidenzia che sono state condotte numerose analisi di sensitività per dimensionare il sistema di chiodature, variando sia gli interassi orizzontali e verticali che l'inclinazione e la tipologia delle barre, in modo da garantire la stabilità del tratto di versante interessato dallo scavo e al tempo stesso ottimizzare la tipologia e le dimensioni dell'intervento.

Sulla base di tali calcoli preliminari, le caratteristiche principali dei chiodi previsti per l'imbocco in oggetto possono essere così riassunte:

- barre Φ40 di acciaio B450C;
- lunghezza dei chiodi: 10 ÷ 24 m;
- forza di snervamento di calcolo di una barra Fyd : 435 kN;
- inclinazione dei chiodi: 0°- 15°;
- interasse verticale (s_v): 2.5 m (Sezione A) – 3.0 m (Sezioni B e C);
- interasse orizzontale (s_h): 2.0 m (Sezione A) – 2.5 m (Sezioni B e C);.

Le Figure 2 – 3 – 4 riportano la geometria delle sezioni di calcolo esaminate (v.§3) e la disposizione dei chiodi.

7.1 VERIFICHE IN FASE COSTRUTTIVA

Per ciascuna sezione di calcolo, al fine di individuare le superfici di scorrimento critiche, sono state esaminate un gran numero di superfici di scorrimento, di forma sia circolare che irregolare e di ampiezza diversa. In questa fase

è stata considerata la presenza di un sisma avente periodo di ritorno $T_R \cong 60$ anni, caratterizzato dai seguenti coefficienti sismici (v. § 6):

$k_h = 0.04$

$k_v = \pm 0.02$

Si noti che, in questa fase, in corrispondenza del cavo della galleria è prevista l'esecuzione di chiodi passivi in vetroresina. Tali chiodi, debitamente tenuti in conto nel modello di calcolo, sono caratterizzati dalla stessa forza di snervamento *di calcolo* (F_{yd}) delle barre in acciaio adottate nei tratti non interferenti con il cavo.

Per brevità, di seguito sono succintamente riportati i risultati più significativi delle verifiche eseguite in corrispondenza delle tre sezioni di calcolo in fase costruttiva. La Tabella 2 sintetizza i valori adottati per le forze esercitate dai chiodi, per unità di lunghezza del versante; la stessa tabella, e le figure ad essa riferite riportate in appendice al presente documento (Appendici A - B - C), mostrano le analisi di stabilità più rappresentative ed i relativi risultati, espressi sinteticamente dal valore del Fattore di Sicurezza FS. Dall'analisi critica di tali risultati si evidenzia la sostanziale stabilità globale del versante, testimoniata da valori del Fattore di Sicurezza (FS) ritenuti più che adeguati.

7.2 VERIFICHE IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Per le stesse sezioni di calcolo sono state condotte verifiche di stabilità globale in condizioni di esercizio. In queste verifiche è stata considerata la presenza di un sisma caratterizzato dai seguenti valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale (v. § 6):

$k_h = 0.114$

$k_v = \pm 0.057$

Le analisi della sezione A sono state eseguite sia considerando tale sezione di calcolo rappresentativa di una sezione esterna al cavo della galleria - nella quale sono stati considerati tutti i chiodi presenti lungo la verticale – di una sezione in asse alla galleria (sebbene più conservativa di quest'ultima, essendo caratterizzata da un'altezza di scavo maggiore), per la quale in condizioni di esercizio sono stati eliminati i chiodi in vetroresina in corrispondenza del cavo. Per la sezione di calcolo A, considerata rappresentativa della sezione in asse al cavo, vengono inoltre presentati sia i risultati relativi a superfici di scorrimento che passano al disopra della galleria, sia quelli relativi a superfici profonde che passano al disotto del piede dello scavo. In quest'ultimo caso si è trascurata, a favore di sicurezza, la presenza del rivestimento definitivo della galleria e del peso del tratto in artificiale esterna.

La Tabella 3 mostra i valori adottati per le forze esercitate dai chiodi e riassume le analisi di stabilità più rappresentative ed i relativi risultati, espressi sinteticamente dal valore del Fattore di Sicurezza FS. Da tale tabella, e dalle figure ad essa relative raccolte in appendice (Appendici A - B - C), si evince la sostanziale stabilità del versante nella sua configurazione definitiva, evidenziata da valori di FS che garantiscono un margine di sicurezza più che adeguato.

8 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono presentati i criteri di progetto e dimensionamento del sistema di ancoraggi passivi previsto in corrispondenza dell'imbocco Lato Finale nell'ambito del "Progetto variante di tracciato alla S.S.1 Aurelia – Capo Noli" da realizzare nel Comune di Noli (SV), e i risultati delle pertinenti verifiche di sicurezza in fase costruttiva e in condizioni di esercizio. L' intervento prevede l'esecuzione di chiodature passive costituite da barre Φ40 in acciaio B450C, con lunghezze variabili tra 10 m e 24 m e inclinazioni di 0° e 15°. I risultati delle verifiche di stabilità qui riportati hanno consentito di appurare per le sezioni di calcolo più gravose e rappresentative dell'intero imbocco la sicurezza dell'intervento proposto, mostrando che il sistema di chiodature passive svolge una efficiente funzione di consolidamento e sostegno in corrispondenza dell'imbocco e che esso non necessita di ulteriori strutture di sostegno integrative.

Sebbene le ipotesi assunte per la caratterizzazione geo-meccanica dell'ammasso, per le azioni (sismiche e non) e per il modello di calcolo siano giudicate certamente cautelative, in sede di progettazione esecutiva occorrerà attentamente valutare la validità e la persistenza delle ipotesi stesse.

FIGURE:

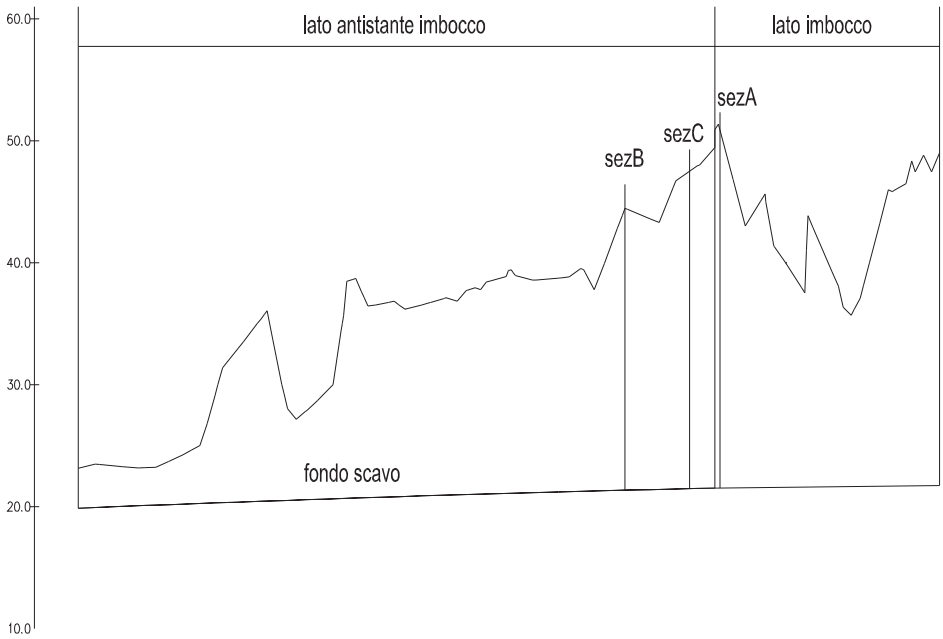


Figura 1. Sezioni di calcolo A, B e C.

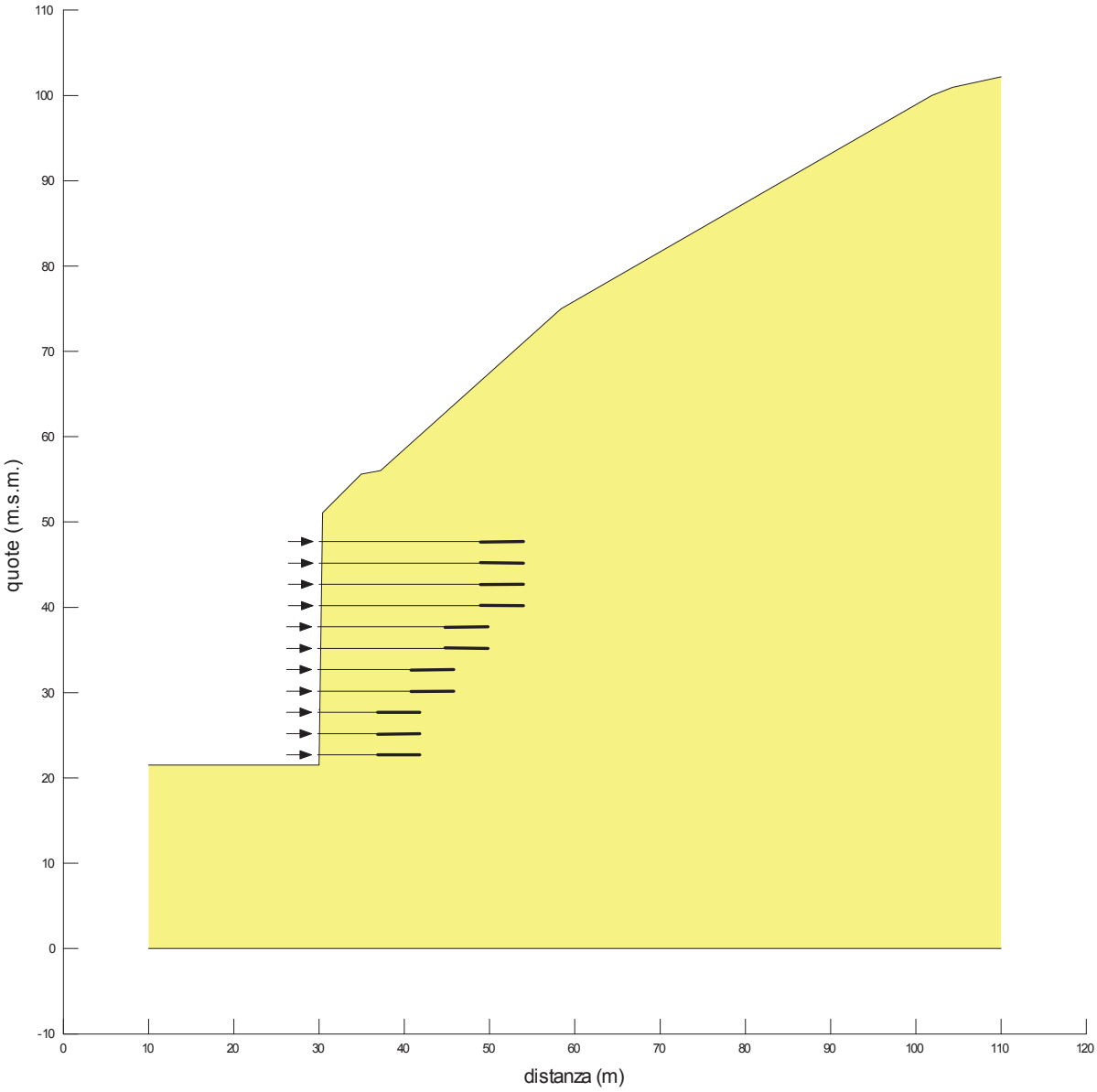


Figura 2. Sezione A: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi.

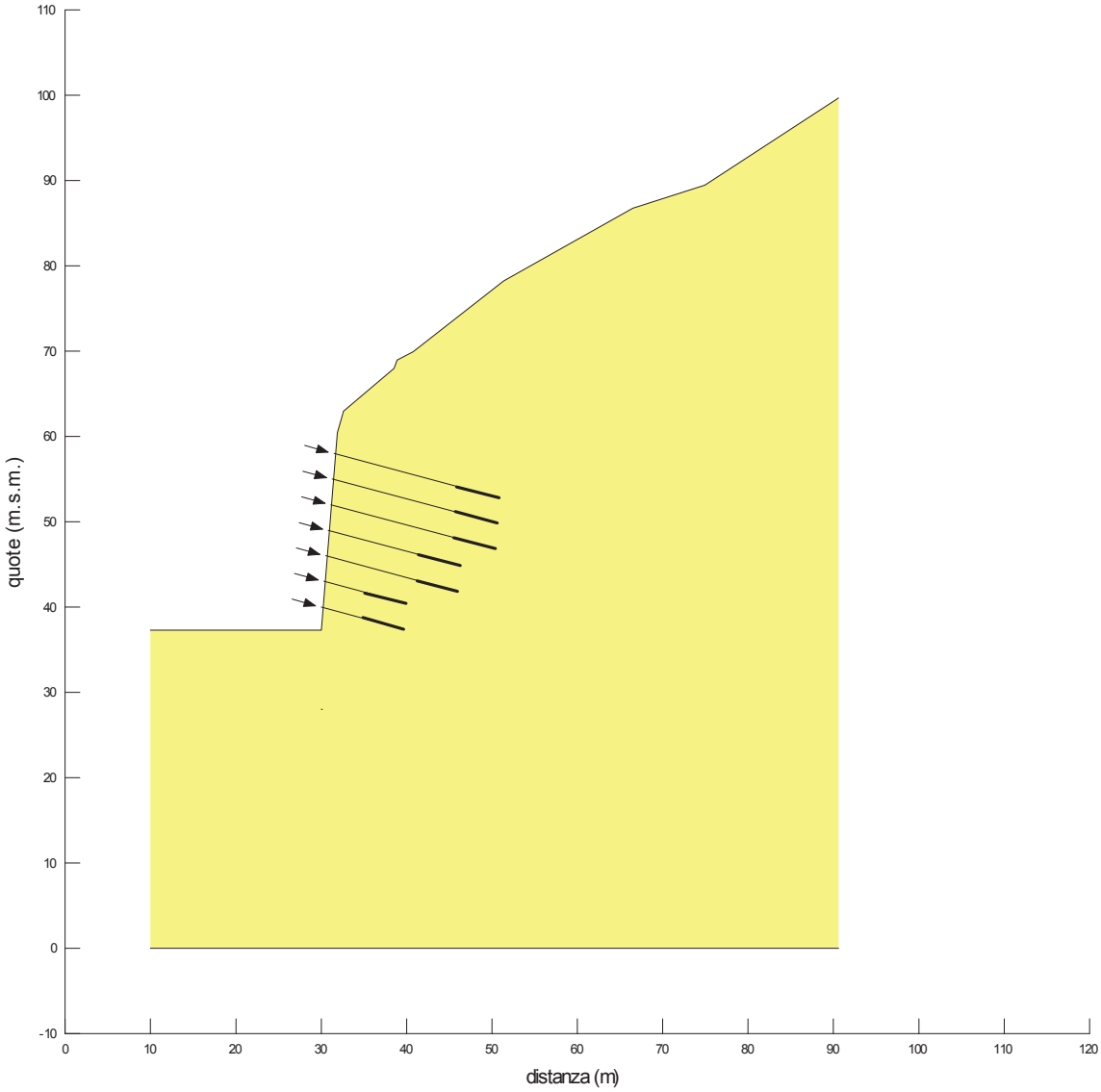


Figura 3. Sezione B: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi.

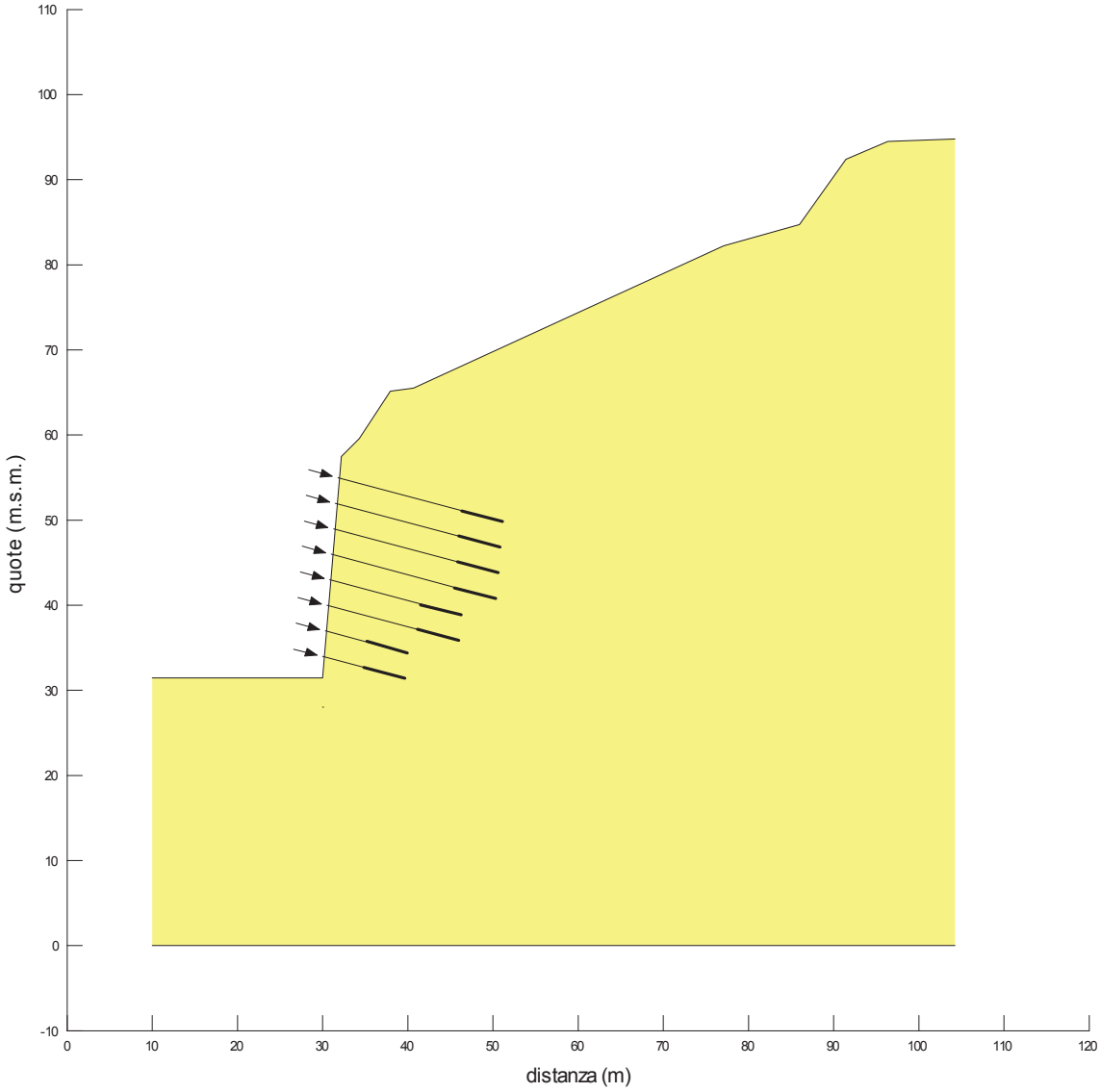


Figura 4. Sezione C: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi.

TABELLE:

Tabella.1 – Sintesi dei parametri fisico-meccanici adottati nei calcoli (valori caratteristici)

Parametri	Litotipo 1: Ca
descrizione	calcari
peso di volume, γ (kN/m^3)	26
angolo d'attrito, ϕ (°)	40
coesione, c' (kPa)	200

Tabella 2 – Fase costruttiva: sintesi delle analisi di stabilità

Analisi n.	Nome_file	s.s. n.	k_v	FS	Figure Appendice n.	n. chiodi lungo la verticale	F_{yd} (kN/m)	Note
1	SezA_kh004	5	0.02	1.545	A.1	11	215	Sezione A all'imbocco
		5	-0.02	1.581	A.2	11	215	
2	Sez_B_kh004	5	0.02	1.749	B.1	7	170	Sezione B sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.02	1.791	B.2	7	170	
3	Sez_C_kh004	5	0.02	1.797	C.1	8	170	Sezione C sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.02	1.844	C.2	8	170	

Legenda: F_{yd} = sforzo assiale di calcolo in un livello di chiodi

s.s. = superficie di scorrimento

k_v = coefficiente sismico verticale

Tabella 3 – Condizioni di esercizio: sintesi delle analisi di stabilità

Analisi n.	Nome_file	s.s. n.	k_v	FS	Figure n.	n. chiodi lungo la verticale (*)	F_{yd} (kN/m)	Note
4	SezA_kh0114	5	0.057	1.385	A.3	11	215	Sezione A
		5	-0.057	1.482	A.4	11	215	Sezione fuori cavo
5	SezA_kh0114_ sds_su	4	0.057	1.762	A.5	6	215	Sezione A
		4	-0.057	1.850	A.6	6	215	Sezione in asse galleria s.d.s passante sopra galleria
6	SezA_kh0114_sds_giu	1	0.057	1.646	A.7	6	215	Sezione A
		1	-0.057	1.708	A.8	6	215	Sezione in asse galleria s.d.s. profonda
7	SezB_kh0114	5	0.057	1.572	B.3	7	170	Sezione B sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.057	1.683	B.4	7	170	
8	SezC_kh0114	5	0.057	1.610	C.3	8	170	Sezione C sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.057	1.737	C.4	8	170	

Legenda: F_{yd} = sforzo assiale di calcolo in un livello di chiodi

s.s. = superficie di scorrimento

k_v = coefficiente sismico verticale

Nota (*): in condizioni di esercizio per la sezione A considerata rappresentativa della sezione longitudinale in asse, si è considerata la presenza dei soli chiodi in acciaio posti al disopra del cavo della galleria

REGIONE LIGURIA
Dipartimento Programmi Regionali,
Porti, Trasporti, Lavori Pubblici ed Edilizia
Settore Progetti Infrastrutture Viabilità
Porti e Logistica

Anas S.p.A.
Direzione Centrale Progettazione

InfrastruttureLiguria
GRUPPO FILSE

CONVENZIONE DEL 14 SETTEMBRE 2009 TRA REGIONE LIGURIA E INFRASTRUTTURE LIGURIA S.R.L. PER LA REALIZZAZIONE DI ATTIVITÀ PER L'ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DI STUDI E PROGETTAZIONI INFRASTRUTTURALI STRATEGICHE

Oggetto:

VARIANTE DI TRACCIATO ALLA S.S.1 AURELIA – CAPO NOLI
PROGETTO DEFINITIVO

Titolo:

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO IMBOCCO LATO FINALE

Doc. n: 02A\DEF\STR\R004

Rev.	Data	Sez.	Pag.	Redatto	Controllato	Approvato	Descrizione
01	15-11-2011	*8*	*41*	VP	FB	SB	Per Emissione
02	20-07-2012	*8*	*41*	VP	FB	SB	Per Emissione

Spazio riservato alla codifica ANAS

CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
DP GE05 D 11 01	T 00 GN 03 GET RE 01	*Ing. Nicola Dinnella*

INDICE

1	**INTRODUZIONE**	**4**
2	**NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI**	**5**
2.1	SOFTWARE UTILIZZATO	5
3	**GEOMETRIA E TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO**	**6**
4	**PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI LITOTIPI**	**8**
5	**CARATTERISTICHE E VERIFICHE DELLE CHIODATURE**	**8**
5.1	PROPRIETÀ DELLE BARRE IN ACCIAIO	8
5.2	DIAMETRO DEI FORI	8
5.3	VERIFICA A SFILAMENTO DELLE CHIODATURE	8
5.4	PROPRIETÀ DELLE BARRE IN VETRORESINA	10
6	**DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA**	**11**
7	**VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE**	**12**
7.1	VERIFICHE IN FASE COSTRUTTIVA	12
7.2	VERIFICHE IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO	13
8	**CONCLUSIONI**	**14**

FIGURE:

Figura 1: Sezioni di calcolo

Figura 2: Sezione A: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi

Figura 3: Sezione B: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi

Figura 4: Sezione C: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi

TABELLE:

Tabella 1: Sintesi dei parametri fisico-meccanici adottati nei calcoli (valori caratteristici)

Tabella 2: Fase costruttiva: sintesi delle analisi di stabilità

Tabella 3: Condizioni di esercizio: sintesi delle analisi di stabilità

APPENDICI:

Appendice A: Sezione A: figure relative alle analisi di stabilità globale

Appendice B: Sezione B: figure relative alle analisi di stabilità globale

Appendice C: Sezione C: figure relative alle analisi di stabilità globale

1 INTRODUZIONE

La presente Relazione di calcolo è parte integrante del progetto definitivo per la realizzazione dell' Imbocco Lato Finale, nell'ambito del "Progetto variante di tracciato alla S.S.1 Aurelia – Capo Noli" da realizzare nel Comune di Noli (SV).

In corrispondenza di detto imbocco, che costituisce il fronte in uscita della Galleria e che si sviluppa planimetricamente in direzione non ortogonale all'asse longitudinale della galleria in corrispondenza dello stesso, il progetto prevede una significativa riprofilatura del versante in roccia esistente e l'esecuzione di uno scavo verticale - di altezza variabile tra circa 14 e 30 m. Al fine di garantire la stabilità e la sicurezza del versante nella sua nuova conformazione, è previsto un intervento di consolidamento che si estende lungo tutte le pareti interessate dallo scavo ed è essenzialmente costituito da un sistema di ancoraggi di tipo passivo (chiodature). L'intervento di chiodatura interessa anche una porzione di pendio antistante l'imbocco. In questo tratto, per uno sviluppo complessivo di circa 52 m, il progetto prevede l'esecuzione di uno scavo verticale - di altezza variabile tra circa 3.5 e 28 m.

La presente relazione riguarda il progetto e il dimensionamento di detto sistema di chiodature passive, nonché la sua verifica in condizioni provvisorie e in quelle di esercizio. Il litotipo interessato dall'imbocco è costituito essenzialmente da calcari, e le caratteristiche geo-meccaniche dell'ammasso rendono estremamente efficace l'intervento previsto per la stabilizzazione definitiva del pendio, senza la necessità di eseguire ulteriori opere di sostegno integrative.

Ciò premesso, gli scopi della presente Relazione possono essere sintetizzati come segue:

- dimensionare il sistema di chiodatura del tratto di versante interessato dall'imbocco;
- verificare la stabilità globale del versante in presenza del sistema di chiodatura, in fase costruttiva e in quella di esercizio.

Nella relazione vengono inoltre sinteticamente descritte le proprietà dei differenti materiali e i metodi di calcolo utilizzati per le verifiche di sicurezza.

2 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – " Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – " Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Circolare LL.PP. 14 Febbraio 1974 n° 11951 – "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica – Istruzioni per l'applicazione";
- Legge 2 Febbraio 1974 n. 64 – "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- CNR 10024/84 del 23.11.1984 – "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo";
- D.M. LL.PP. 14 Gennaio 2008 - "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 2 Febbraio 2009, n. 617 - "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008"Testo in stile "Normale".

2.1 SOFTWARE UTILIZZATO

- Slope/W. Programma per l'analisi di stabilità dei pendii. GEO-SLOPE International Ltd (Calgary, Alberta, Canada).

3 GEOMETRIA E TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO

Sono state scelte tre sezioni di calcolo caratterizzate dalle maggiori altezze di scavo e ordini di chiodature passive (pari a 7 – 8 – 11); le analisi di stabilità condotte per tali sezioni, ritenute le più gravose, possono essere considerate rappresentative per tutto l'imbocco in esame. In dettaglio, le sezioni di calcolo analizzate sono le seguenti:

- Sezione A, caratterizzata dalla massima altezza di scavo di 29.6 m e ubicata all'imbocco, in cui sono previsti 11 ordini di chiodi;
- Sezione B, ubicata sulla porzione di pendio antistante l'imbocco, con altezza di scavo di 23 m, in cui sono previsti 7 ordini di chiodi;
- Sezione C, anch'essa ubicata sulla porzione di pendio antistante l'imbocco, caratterizzata da un'altezza di scavo pari a 26 m e da 8 ordini di chiodi.

Come citato nelle premesse, il progetto prevede un intervento di consolidamento attraverso l'esecuzione di un sistema di chiodature passive in barre di acciaio (Φ40), diffuse lungo tutte le pareti rocciose in corrispondenza dell'area di imbocco; a tale sistema è affidato il mantenimento di adeguate condizioni di equilibrio del versante, sia in condizioni provvisorie che in quelle definitive.

Dopo un'attenta valutazione di possibili soluzioni progettuali alternative, è apparso più conveniente e affidabile ricorrere ad ancoraggi di tipo passivo, piuttosto che a tiranti pretesi. Questa soluzione, infatti, presenta i seguenti vantaggi fondamentali:

- gli ancoraggi sono costituiti da barre di acciaio di notevole spessore e protetti da una corona circolare di malta cementizia (copriferro), anch'essa di spessore considerevole. La resistenza alla corrosione di questi elementi strutturali è quindi decisamente superiore rispetto ai tiranti attivi;
- gli ancoraggi sono di tipo "passivo", e pertanto saranno sollecitati soltanto se - quando - laddove - se ne manifesti l'effettiva necessità (es. azione sismiche);
- i tassi di lavoro dei materiali costituenti l'ancoraggio, nonché quelli delle rocce di fondazione dell'ancoraggio, sono ben minori di quelli caratteristici dei tiranti a trefoli attivi;
- l'iniezione avviene con un'unica soluzione lungo l'intera lunghezza del foro; ciò consente alla miscela di iniezione di riempire e consolidare fratture ed eventuali cavità, anche in prossimità della superficie del versante;
- il numero di chiodature passive è superiore a quello di tiranti pretesi, il che implica una migliore diffusione delle forze esercitate dai chiodi ed una minore necessità di elementi di ripartizione di dette forze (travi di collegamento, piastre di placcaggio e/o di testa);
- gli spostamenti necessari a mobilitare la piena resistenza dell'ancoraggio sono comunque modesti, e verosimilmente dell'ordine di alcuni millimetri.

Infine, le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08) prescrivono, per i tiranti attivi impiegati con funzione permanente, la predisposizione di un piano di monitoraggio per verificare il comportamento dell'ancoraggio nel tempo, nonché la possibilità di successivi interventi di regolazione e/o sostituzione. Non avendo certezza sul soddisfacimento di questi requisiti durante la vita utile degli ancoraggi diventa opportuno ricorrere ad ancoraggi di tipo passivo per l'imbocco in questione.

La natura dell'ammasso roccioso interessato dalle opere di imbocco, che appartiene alla formazione dei calcari, consente un impiego efficace degli elementi di ancoraggio passivi per la stabilizzazione del versante; i chiodi passivi garantiscono infatti il consolidamento dei fronti di scavo anche in condizioni sismiche e senza necessità di

ulteriori strutture di sostegno integrative. Oltre alle chiodature passive, il progetto prevede di collegare le teste dei chiodi con un reticolo di funi di acciaio avente la funzione di contenere eventuali distacchi localizzati di blocchi di roccia, ripartendo lo sforzo necessario sul maggior numero possibile di chiodature.

Al fine di ottimizzare l'intervento di chiodatura l'interasse orizzontale/verticale tra i chiodi è stato diversificato a seconda della posizione dell'intervento:

- in corrispondenza della parete di imbocco è previsto un interasse orizzontale di 2.0 m e un interasse verticale di 2.5 m (v. Sezione A);
- in corrispondenza della porzione di pendio antistante l'imbocco è previsto un interasse orizzontale di 2.5 m e un interasse verticale di 3.0 m (v. Sezioni B e C).

Al fine di ottimizzare la struttura sono previste inoltre tipologie di chiodi passivi diverse per lunghezze e inclinazioni. In corrispondenza del cavo della galleria inoltre, le chiodature passive in acciaio sono sostituite da chiodi in vetroresina, che saranno demoliti con l'arrivo dell'avanzamento del fronte di scavo. Rimandando alle tavole di progetto per una completa descrizione dell'intervento, nella Figura 1 sono mostrate schematicamente le diverse sezioni di calcolo esaminate nelle verifiche di sicurezza.

4 PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI LITOTIPI

Il litotipo interessato dall'imbocco è costituito da calcari (v. Tavola T015 - Profilo Geomeccanico - del Progetto Preliminare).

Ai fini della presente relazione di calcolo e delle relative verifiche, è sufficiente evidenziare che per il litotipo interessato sono stati assunti i parametri fisico-meccanici sintetizzati in Tabella 1. Si evidenzia che i parametri meccanici adottati in corrispondenza dell'imbocco risultano piuttosto conservativi; in questa fase, tale scelta si è resa opportuna per tenere conto del fatto che generalmente le caratteristiche meccaniche della roccia affiorante sono inferiori a quelle dell'ammasso.

5 CARATTERISTICHE E VERIFICHE DELLE CHIODATURE

Nel presente capitolo vengono descritte alcune caratteristiche geometriche e meccaniche delle chiodature passive. Vengono inoltre sinteticamente riportate alcune verifiche di sicurezza degli stessi ancoraggi.

5.1 PROPRIETÀ DELLE BARRE IN ACCIAIO

Le chiodature permanenti di tipo passivo a sostegno dei fronti di scavo sono realizzate con barre Φ40 di acciaio B450C, aventi le seguenti proprietà:

f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento = 450 MPa;

A_s = area della barra di acciaio = 1257 mm^2;

F_{yk} = forza caratteristica di snervamento di una barra = $f_{yk} A_s$ = 565.5 kN.

La resistenza di calcolo dell'acciaio è stata determinata assumendo cautelativamente un coefficiente di sicurezza parziale sulla resistenza del materiale (γ_S) pari a 1.3, lievemente maggiore di quello minimo imposto dalle NTC08; la forza di snervamento di calcolo F_{yd} di una barra risulta pertanto:

$$F_{yd} = \frac{F_{yk}}{\gamma_S} = \frac{565.5}{1.3} = 435 \text{ kN}.$$

5.2 DIAMETRO DEI FORI

Il diametro previsto per i fori delle chiodature è pari a 12.5 cm, vale a dire, sensibilmente maggiore del diametro delle barre di acciaio. Tale diametro è stato adottato al fine di:

- minimizzare le deviazioni dalla inclinazione prescritta per gli ancoraggi;
- facilitare il centramento delle barre all'interno del foro;
- fornire una adeguata protezione dalla corrosione (copriferro), incrementando così la durabilità dell'intervento.

5.3 VERIFICA A SFILAMENTO DELLE CHIODATURE

La lunghezza minima della fondazione dell'ancoraggio, L_{Fmin}, è stata determinata imponendo, secondo il principio

della gerarchia delle resistenze, che la barra d'acciaio costituente l'armatura dell'ancoraggio raggiunga lo snervamento prima dello sfilamento del chiodo rispetto alla roccia circostante. A tal fine, occorre innanzitutto valutare la resistenza tangenziale (a_k) all'interfaccia tra la roccia e la superficie laterale del chiodo iniettato. Considerato che i chiodi in esame sono iniettati per tutta la loro lunghezza in un'unica soluzione, il valore caratteristico di a_k è stato valutato avvalendosi del metodo di Bustamante e Doix (1985), ottenendo:

a_k = 500 kPa

Tale valore, che ricade nel campo medio suggerito dagli Autori per rocce alterate e fratturate, è ritenuto lievemente conservativo e dovrà comunque essere validato, in sede di progettazione esecutiva, da prove di sfilamento in vera grandezza da eseguire in prossimità dell'imbocco in esame.

La lunghezza minima della fondazione dell'ancoraggio vale pertanto:

$$L_{F\,min} = \frac{F_{yk}}{\pi\, d\, a_d}$$

ove: d = diametro della perforazione = 12.5 cm;

a_d = resistenza tangenziale di calcolo all'interfaccia chiodo-roccia,

ed il valore di a_d è ottenuto dividendo il valore caratteristico a_k per il coefficiente parziale di sicurezza sui materiali (γ_M=1.25). Con i valori delle grandezze su elencati, si ottiene in definitiva:

$$L_{F\,min} = \frac{F_{yk}}{\pi\, d\, a_d} = \frac{565.5}{\pi \cdot 0.125 \cdot \frac{500}{1.25}} = 3.60\ \text{m}$$

Occorre ora verificare che, sotto l'azione di progetto, sussista un sufficiente margine di sicurezza nei confronti dello sfilamento tra chiodatura e roccia. In accordo con NTC08, tale verifica a sfilamento prevede che sia verificata la diseguaglianza:

$$R_{ad} \geq F_d$$

ove R_{ad} è la resistenza di progetto e F_{yd} = 435 kN è l'azione di progetto. Nel caso in esame risulta:

$$R_{ad} = \frac{R_{ak}}{\gamma_{Ra,p}}$$

ove: R_{ak} è la resistenza caratteristica: $R_{ak} = \frac{R_{ac}}{\xi_{a4}} = \frac{R_{ac}}{1.8}$;

$\gamma_{Ra,p}$ = 1.2 è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi permanenti.

La verifica diviene pertanto:

$$\left(\frac{L_F \cdot \pi \cdot d \cdot a_k}{1.8}\right) / 1.2 \geq F_{yd}$$

dalla quale si ottiene in definitiva: $L_F \geq 4.79$ m.

Sulla scorta delle precedenti valutazioni, nelle analisi di stabilità globale del versante condotte, con il metodo delle strisce, considerando la presenza del sistema di chiodature passivo, si assume che la lunghezza "fittizia" della fondazione dell'ancoraggio passivo sia pari a L_F = 5 m; ciò equivale ad assumere che la forza di calcolo dell'ancoraggio (F_{yd} = 435 kN) può essere interamente esplicitata fin quando la lunghezza della fondazione del chiodo è superiore a 5 m, e che per valori minori della lunghezza tale forza deve essere necessariamente ridotta.

5.4 PROPRIETÀ DELLE BARRE IN VETRORESINA

In corrispondenza del cavo della galleria le chiodature passive in acciaio sono sostituite da chiodi in vetroresina, che saranno via via demoliti con l'avvicinamento del fronte di scavo. Per il dimensionamento di tali chiodi - ed in particolare, per la scelta di una idonea sezione del chiodo - è sufficiente imporre che la forza di snervamento di calcolo F_{yd} sia pari a quella adottata per le barre di acciaio (F_{yd} = 435 kN).

6 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

La determinazione dell'azione sismica è stata effettuata secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08). In accordo con la citata normativa, data l'importanza delle opere in esame, si è ritenuto opportuno considerare una vita nominale V_N delle stesse pari a 50 anni. Le opere inoltre, in relazione alle conseguenze di una eventuale interruzione di operatività causata dall'evento sismico, sono state classificate di classe d'uso III; tale scelta comporta l'assunzione di un coefficiente d'uso C_U = 1.5.

Da tali opzioni deriva il periodo di riferimento V_R per l'azione sismica:

$V_R = V_N \cdot C_U = 75$ anni.

In relazione alle prestazioni delle opere si è inoltre fatto riferimento ad uno Stato Limite Ultimo di salvaguardia della vita (SLV), a cui viene associata una probabilità di superamento P_{VR} = 10 % nel suddetto periodo di riferimento V_R di 75 anni.

Per lo Stato Limite Ultimo SLV, al valore del periodo di riferimento V_R = 75 anni corrisponde un valore del periodo di ritorno T_R = 712 anni.

Dalla Tabella in allegato alle NTC08 contenente i parametri spettrali per tutti i punti del reticolo di riferimento, per il suddetto periodo di ritorno e in corrispondenza dell'area in esame (longitudine = 8.42016 ; latitudine = 44.19840), si ottiene il seguente valore di accelerazione orizzontale massima a_g:

a_g = 0.079 g = 0.775 m/s^2

Nota l'accelerazione orizzontale massima a_g, sono stati determinati i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v, da adottare nelle analisi di stabilità:

$$k_h = \frac{a_g \cdot S_S \cdot S_T \cdot \beta_s}{g} \qquad , \; k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

ove:

- S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica assunto pari a 1.2, relativo ad una categoria di sottosuolo di tipo B, assunta cautelativamente in assenza di una campagna di indagini integrativa;
- S_T è il coefficiente di amplificazione topografica assunto pari a 1.2, corrispondente a una categoria topografica T2 (pendii con inclinazione media i > 15°);
- β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito per la stabilità dei pendii, assunto cautelativamente pari ad 1. Si evidenzia che i valori di β_s riportati nelle NTC08 per le verifiche di stabilità dei pendii corrispondono a valori degli spostamenti permanenti del fronte di scavo dell'ordine di 15 - 20 cm (v. *Rampello e Callisto (2008): Stabilità dei pendii in condizioni sismiche, in MIR 2008, Patron, Bologna*; v. *Rampello e Silvestri (2009): Force-based pseudo-static methods vs. displacement-besed methods for slope stability analysis, in Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, Napoli, E. Cosenza ed.*). Per gli scavi armati in oggetto, tali valori degli spostamenti sono ritenuti inaccettabili sia nei confronti delle opere ubicate in prossimità dei fronti di scavo, che nei confronti del comportamento degli stessi ancoraggi passivi che armano i versanti; questi ultimi elementi strutturali, in particolare, possono verosimilmente manifestare un comportamento di tipo fragile ed esibire una significativa riduzione della resistenza al crescere degli spostamenti. Pertanto, in mancanza di indicazioni specifiche dalla Normativa vigente e al fine di garantire un'adeguata prestazione dell'intero sistema, in via cautelativa si è adottato un coefficiente β_s = 1 (spostamenti nulli).

I valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale assunti nelle verifiche delle paratie risultano pertanto:

$k_h = 0.114$, $k_v = \pm 0.057$

Si evidenzia che anche nelle verifiche di stabilità relative alla fase costruttiva si è cautelativamente assunta un'azione sismica, seppur di lieve intensità. Più precisamente, le analisi di stabilità relative alla configurazione provvisoria dell'imbocco durante le fasi realizzative sono state eseguite con un'azione sismica di progetto denotata dai seguenti coefficienti:

$k_h = 0.04$, $k_v = \pm 0.02$

cui corrisponde, per il sito in esame, un tempo di ritorno del sisma T_R di circa 60 anni, ovvero una probabilità molto bassa che si verifichi un tale evento sismico durante la fase di costruzione dell'opera.

7 VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE

Le analisi di stabilità globale sono state condotte con gli usuali metodi dell'equilibrio limite (metodi delle strisce) avvalendosi del programma di calcolo SLOPE/W (Geo-Slope International, Calgary, Alberta, Canada) ed utilizzando sia il *Metodo di Bishop Semplificato* che il *Metodo General Limit Equilibrium* (GLE). I due metodi hanno sempre fornito risultati coincidenti ai fini pratici. Nel caso in esame, il codice di calcolo consente di tenere debito conto di superfici di scorrimento di forma diversa (circolari e irregolari), di eventuali sovraccarichi, e delle forze effettivamente sostenute dagli ancoraggi passivi. Per questi ultimi, in particolare, si assume che il carico sostenuto dagli ancoraggi sia pari a quello di calcolo (F_{yd} = 435 kN) allorquando il tratto di chiodo posto all'esterno della potenziale superficie di scorrimento risulta maggiore o uguale della lunghezza di fondazione fittizia (L_F = 5 m). In caso contrario il carico sostenuto dalle chiodature risulta proporzionalmente ridotto, annullandosi allorquando l'ancoraggio è posto interamente all'interno della superficie di scorrimento.

Si evidenzia che sono state condotte numerose analisi di sensitività per dimensionare il sistema di chiodature, variando sia gli interassi orizzontali e verticali che l'inclinazione e la tipologia delle barre, in modo da garantire la stabilità del tratto di versante interessato dallo scavo e al tempo stesso ottimizzare la tipologia e le dimensioni dell'intervento.

Sulla base di tali calcoli preliminari, le caratteristiche principali dei chiodi previsti per l'imbocco in oggetto possono essere così riassunte:

- barre Φ40 di acciaio B450C;
- lunghezza dei chiodi: 10 ÷ 24 m;
- forza di snervamento di calcolo di una barra Fyd : 435 kN;
- inclinazione dei chiodi: 0°- 15°;
- interasse verticale (s_v): 2.5 m (Sezione A) – 3.0 m (Sezioni B e C);
- interasse orizzontale (s_h): 2.0 m (Sezione A) – 2.5 m (Sezioni B e C);.

Le Figure 2 – 3 – 4 riportano la geometria delle sezioni di calcolo esaminate (v.§3) e la disposizione dei chiodi.

7.1 VERIFICHE IN FASE COSTRUTTIVA

Per ciascuna sezione di calcolo, al fine di individuare le superfici di scorrimento critiche, sono state esaminate un gran numero di superfici di scorrimento, di forma sia circolare che irregolare e di ampiezza diversa. In questa fase

è stata considerata la presenza di un sisma avente periodo di ritorno $T_R \cong 60$ anni, caratterizzato dai seguenti coefficienti sismici (v. § 6):

$k_h = 0.04$

$k_v = \pm 0.02$

Si noti che, in questa fase, in corrispondenza del cavo della galleria è prevista l'esecuzione di chiodi passivi in vetroresina. Tali chiodi, debitamente tenuti in conto nel modello di calcolo, sono caratterizzati dalla stessa forza di snervamento *di calcolo* (F_{yd}) delle barre in acciaio adottate nei tratti non interferenti con il cavo.

Per brevità, di seguito sono succintamente riportati i risultati più significativi delle verifiche eseguite in corrispondenza delle tre sezioni di calcolo in fase costruttiva. La Tabella 2 sintetizza i valori adottati per le forze esercitate dai chiodi, per unità di lunghezza del versante; la stessa tabella, e le figure ad essa riferite riportate in appendice al presente documento (Appendici A - B - C), mostrano le analisi di stabilità più rappresentative ed i relativi risultati, espressi sinteticamente dal valore del Fattore di Sicurezza FS. Dall'analisi critica di tali risultati si evidenzia la sostanziale stabilità globale del versante, testimoniata da valori del Fattore di Sicurezza (FS) ritenuti più che adeguati.

7.2 VERIFICHE IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Per le stesse sezioni di calcolo sono state condotte verifiche di stabilità globale in condizioni di esercizio. In queste verifiche è stata considerata la presenza di un sisma caratterizzato dai seguenti valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale (v. § 6):

$k_h = 0.114$

$k_v = \pm 0.057$

Le analisi della sezione A sono state eseguite sia considerando tale sezione di calcolo rappresentativa di una sezione esterna al cavo della galleria - nella quale sono stati considerati tutti i chiodi presenti lungo la verticale – di una sezione in asse alla galleria (sebbene più conservativa di quest'ultima, essendo caratterizzata da un'altezza di scavo maggiore), per la quale in condizioni di esercizio sono stati eliminati i chiodi in vetroresina in corrispondenza del cavo. Per la sezione di calcolo A, considerata rappresentativa della sezione in asse al cavo, vengono inoltre presentati sia i risultati relativi a superfici di scorrimento che passano al disopra della galleria, sia quelli relativi a superfici profonde che passano al disotto del piede dello scavo. In quest'ultimo caso si è trascurata, a favore di sicurezza, la presenza del rivestimento definitivo della galleria e del peso del tratto in artificiale esterna.

La Tabella 3 mostra i valori adottati per le forze esercitate dai chiodi e riassume le analisi di stabilità più rappresentative ed i relativi risultati, espressi sinteticamente dal valore del Fattore di Sicurezza FS. Da tale tabella, e dalle figure ad essa relative raccolte in appendice (Appendici A - B - C), si evince la sostanziale stabilità del versante nella sua configurazione definitiva, evidenziata da valori di FS che garantiscono un margine di sicurezza più che adeguato.

8 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono presentati i criteri di progetto e dimensionamento del sistema di ancoraggi passivi previsto in corrispondenza dell'imbocco Lato Finale nell'ambito del "Progetto variante di tracciato alla S.S.1 Aurelia – Capo Noli" da realizzare nel Comune di Noli (SV), e i risultati delle pertinenti verifiche di sicurezza in fase costruttiva e in condizioni di esercizio. L' intervento prevede l'esecuzione di chiodature passive costituite da barre Φ40 in acciaio B450C, con lunghezze variabili tra 10 m e 24 m e inclinazioni di 0° e 15°. I risultati delle verifiche di stabilità qui riportati hanno consentito di appurare per le sezioni di calcolo più gravose e rappresentative dell'intero imbocco la sicurezza dell'intervento proposto, mostrando che il sistema di chiodature passive svolge una efficiente funzione di consolidamento e sostegno in corrispondenza dell'imbocco e che esso non necessita di ulteriori strutture di sostegno integrative.

Sebbene le ipotesi assunte per la caratterizzazione geo-meccanica dell'ammasso, per le azioni (sismiche e non) e per il modello di calcolo siano giudicate certamente cautelative, in sede di progettazione esecutiva occorrerà attentamente valutare la validità e la persistenza delle ipotesi stesse.

FIGURE:

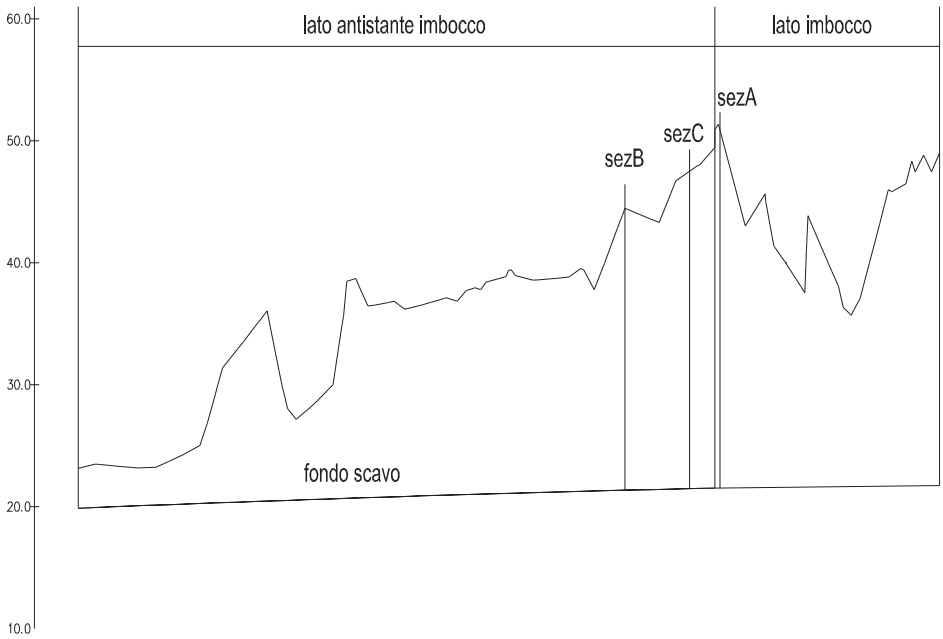


Figura 1. Sezioni di calcolo A, B e C.

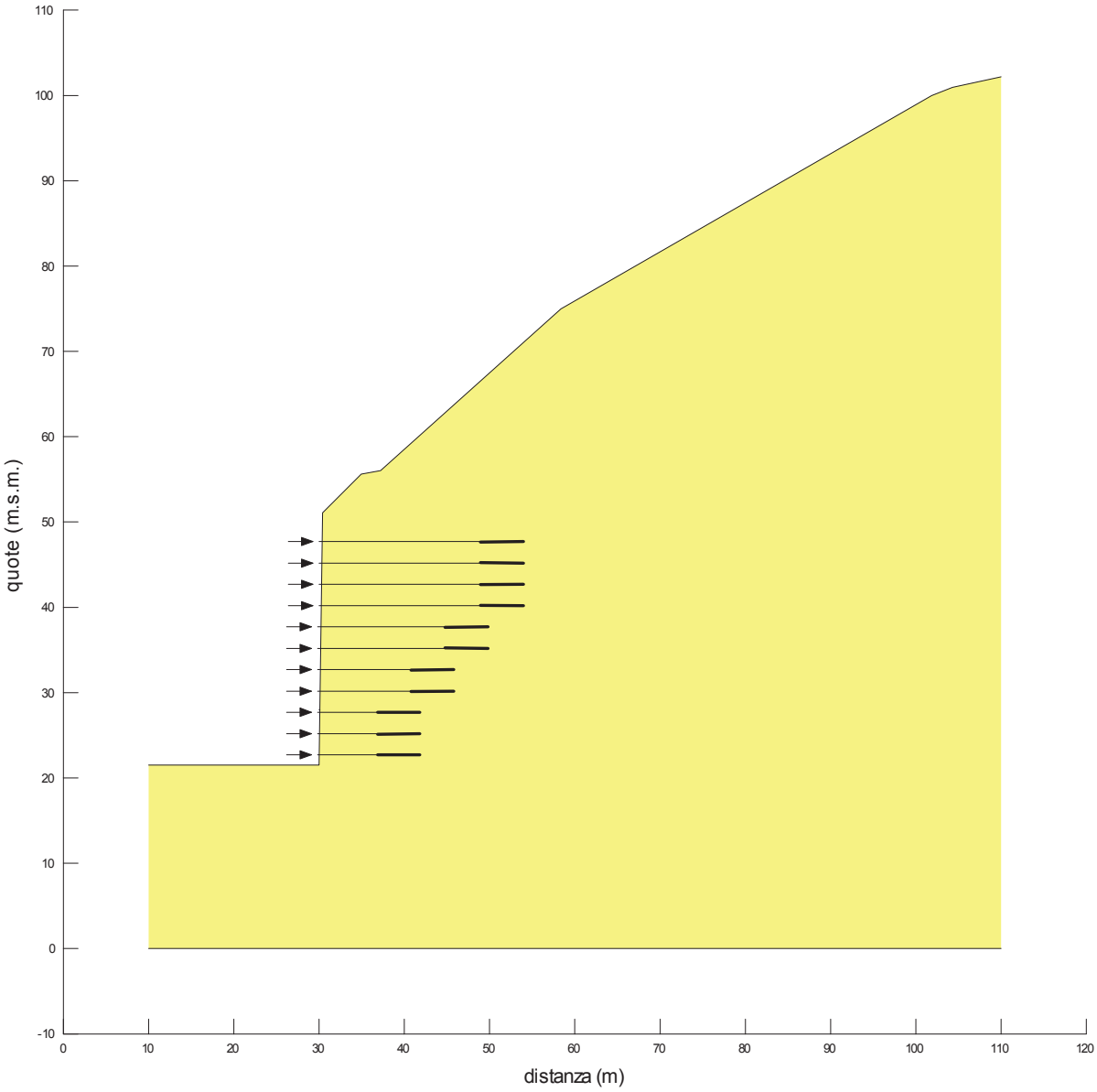


Figura 2. Sezione A: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi.

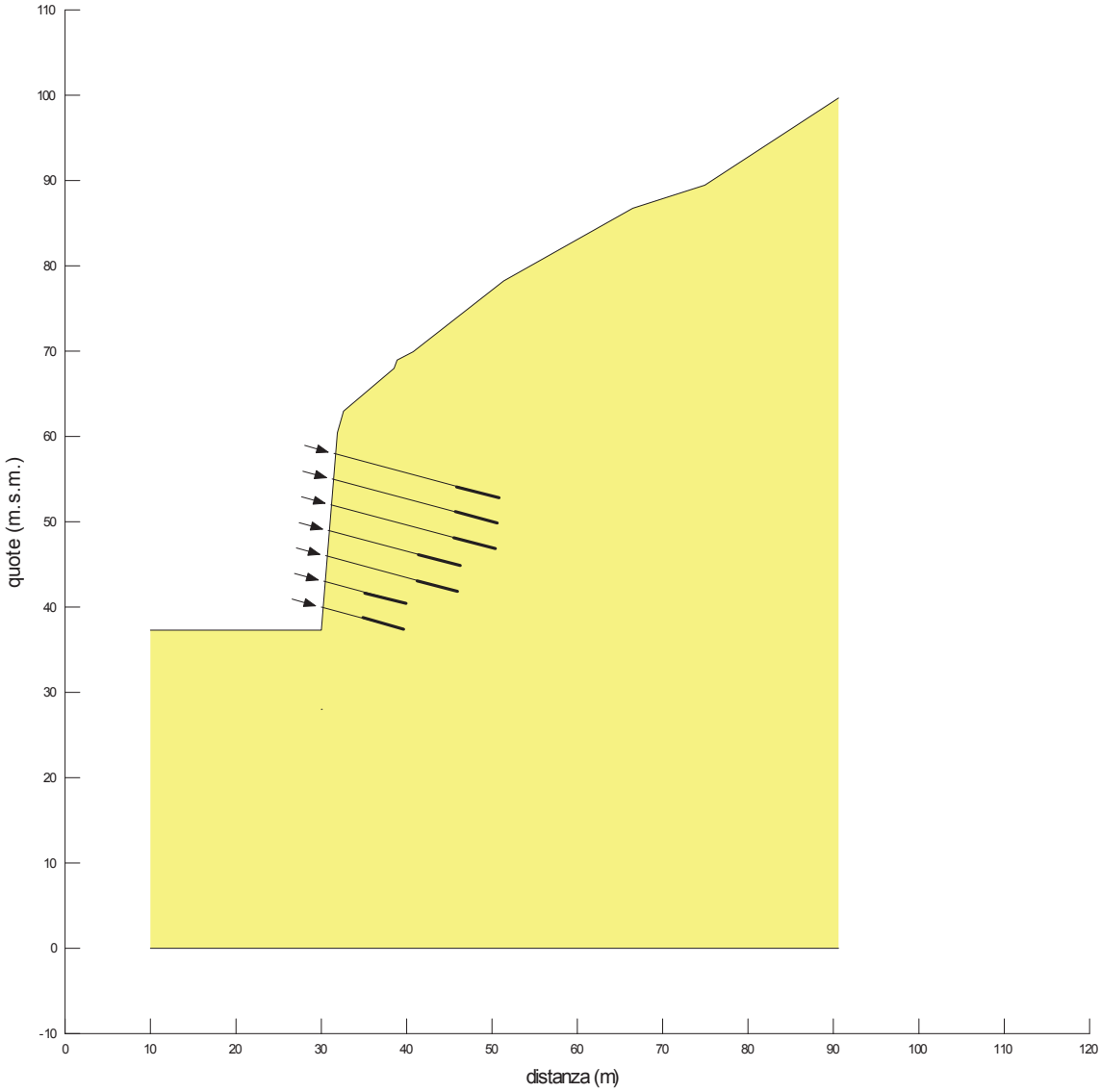


Figura 3. Sezione B: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi.

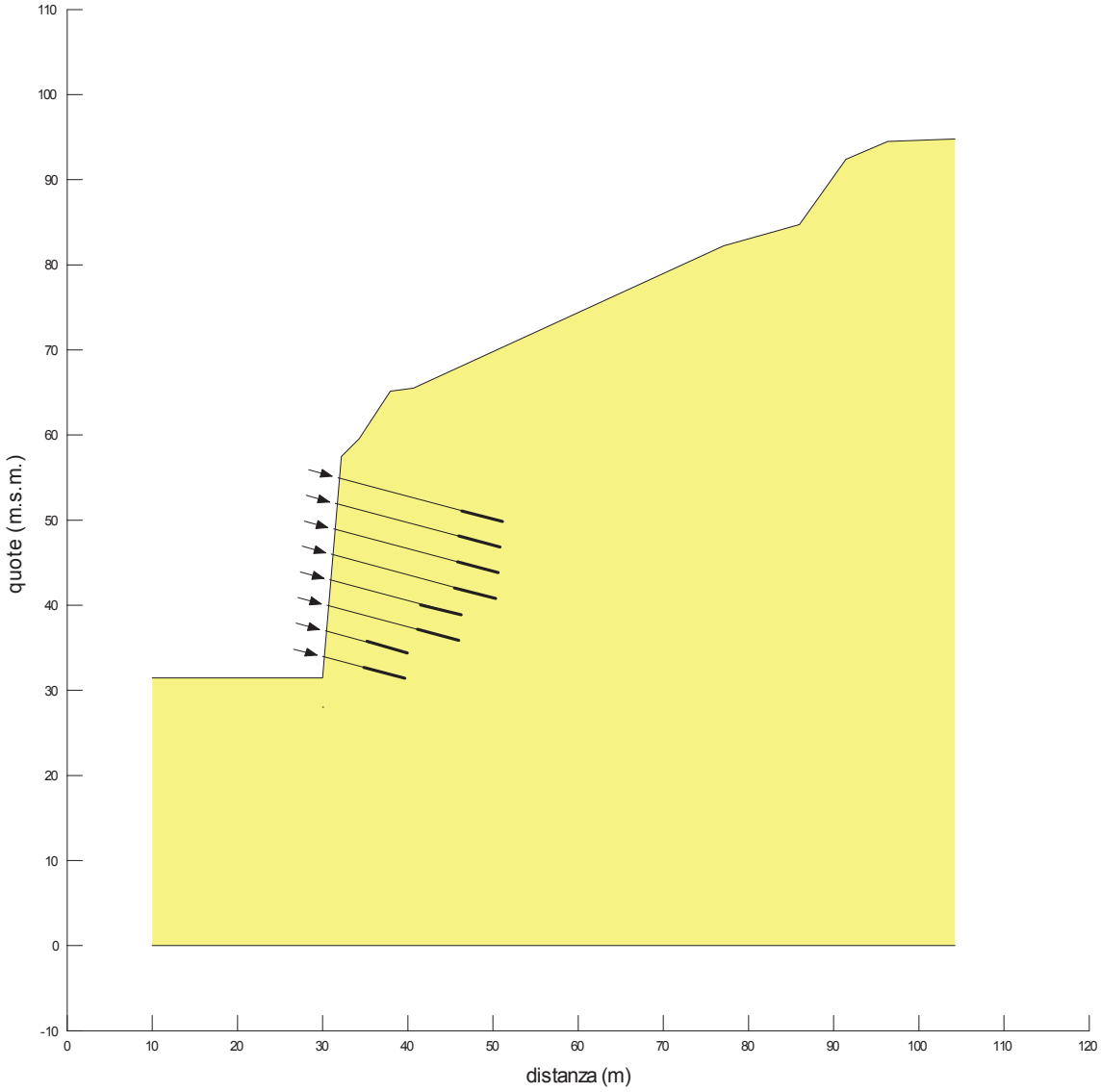


Figura 4. Sezione C: rappresentazione schematica della geometria e disposizione tipo dei chiodi.

TABELLE:

Tabella.1 – Sintesi dei parametri fisico-meccanici adottati nei calcoli (valori caratteristici)

Parametri	Litotipo 1: Ca
descrizione	calcari
peso di volume, γ (kN/m^3)	26
angolo d'attrito, ϕ (°)	40
coesione, c' (kPa)	200

Tabella 2 – Fase costruttiva: sintesi delle analisi di stabilità

Analisi n.	Nome_file	s.s. n.	k_v	FS	Figure Appendice n.	n. chiodi lungo la verticale	F_{yd} (kN/m)	Note
1	SezA_kh004	5	0.02	1.545	A.1	11	215	Sezione A all'imbocco
		5	-0.02	1.581	A.2	11	215	
2	Sez_B_kh004	5	0.02	1.749	B.1	7	170	Sezione B sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.02	1.791	B.2	7	170	
3	Sez_C_kh004	5	0.02	1.797	C.1	8	170	Sezione C sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.02	1.844	C.2	8	170	

Legenda: F_{yd} = sforzo assiale di calcolo in un livello di chiodi

s.s. = superficie di scorrimento

k_v = coefficiente sismico verticale

Tabella 3 – Condizioni di esercizio: sintesi delle analisi di stabilità

Analisi n.	Nome_file	s.s. n.	k_v	FS	Figure n.	n. chiodi lungo la verticale (*)	F_{yd} (kN/m)	Note
4	SezA_kh0114	5	0.057	1.385	A.3	11	215	Sezione A
		5	-0.057	1.482	A.4	11	215	Sezione fuori cavo
5	SezA_kh0114_ sds_su	4	0.057	1.762	A.5	6	215	Sezione A
		4	-0.057	1.850	A.6	6	215	Sezione in asse galleria s.d.s passante sopra galleria
6	SezA_kh0114_sds_giu	1	0.057	1.646	A.7	6	215	Sezione A
		1	-0.057	1.708	A.8	6	215	Sezione in asse galleria s.d.s. profonda
7	SezB_kh0114	5	0.057	1.572	B.3	7	170	Sezione B sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.057	1.683	B.4	7	170	
8	SezC_kh0114	5	0.057	1.610	C.3	8	170	Sezione C sulla porzione di pendio antistante l'imbocco
		5	-0.057	1.737	C.4	8	170	

Legenda: F_{yd} = sforzo assiale di calcolo in un livello di chiodi

s.s. = superficie di scorrimento

k_v = coefficiente sismico verticale

Nota (*): in condizioni di esercizio per la sezione A considerata rappresentativa della sezione longitudinale in asse, si è considerata la presenza dei soli chiodi in acciaio posti al disopra del cavo della galleria

Appendice A

Lato Finale - Sezione A:
figure relative alle analisi di stabilità globale

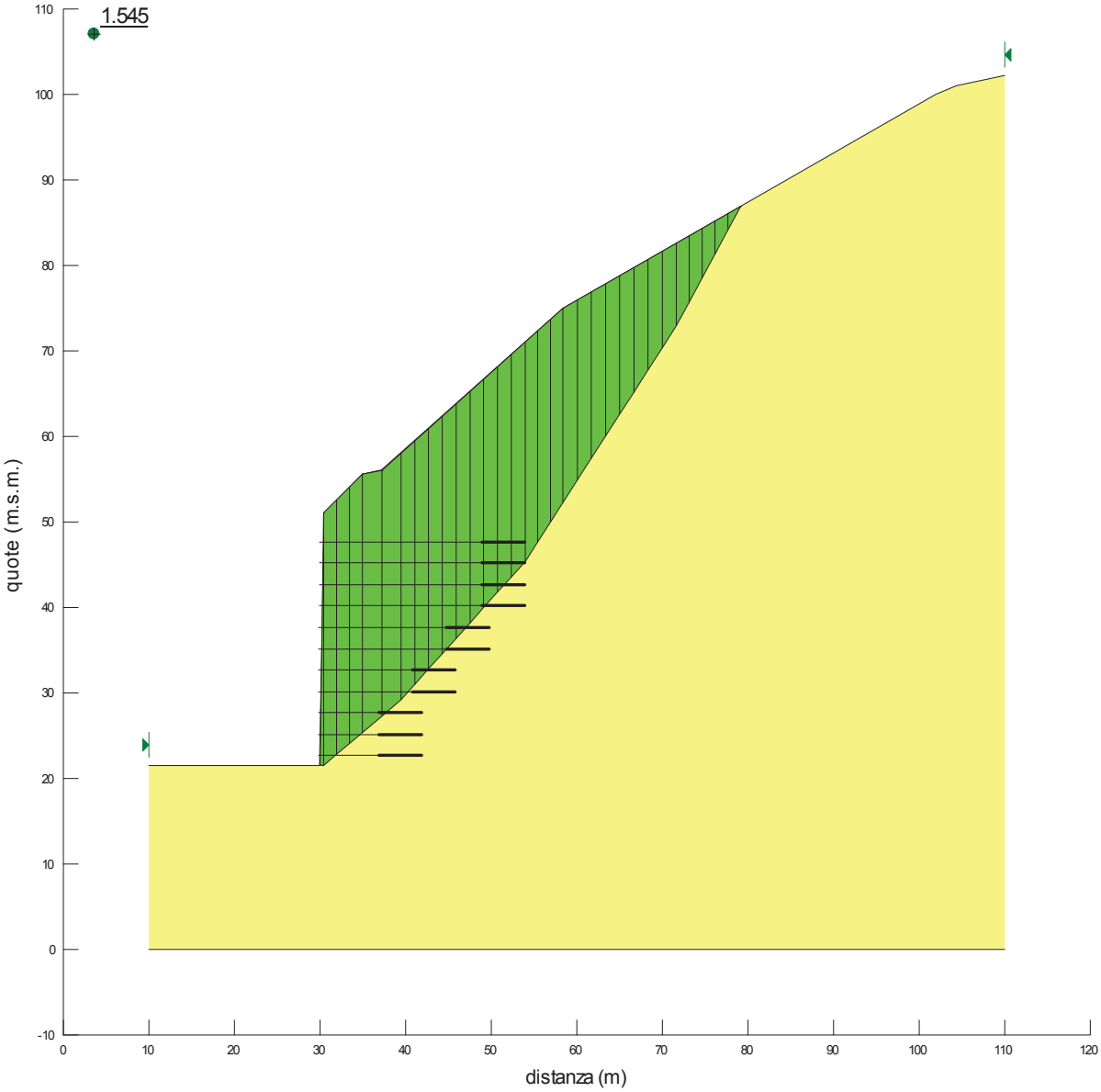


Figura A.1 – Sezione A: fase costruttiva - (k_h = 0.04, k_v = 0.02 - s.s n.5)

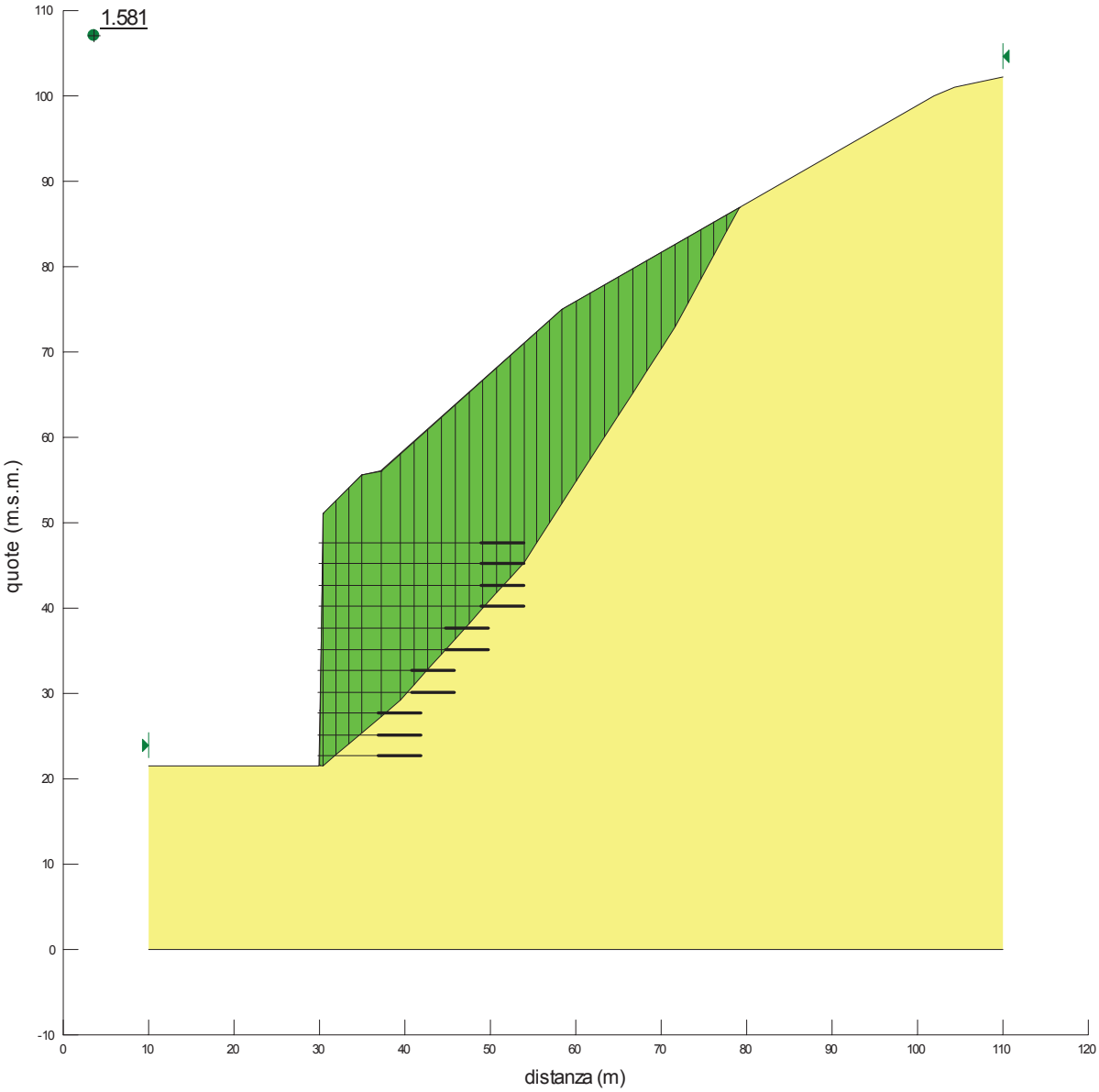


Figura A.2 – Sezione A: fase costruttiva - (k_h = 0.04, k_v = -0.02 - s.s n.5)

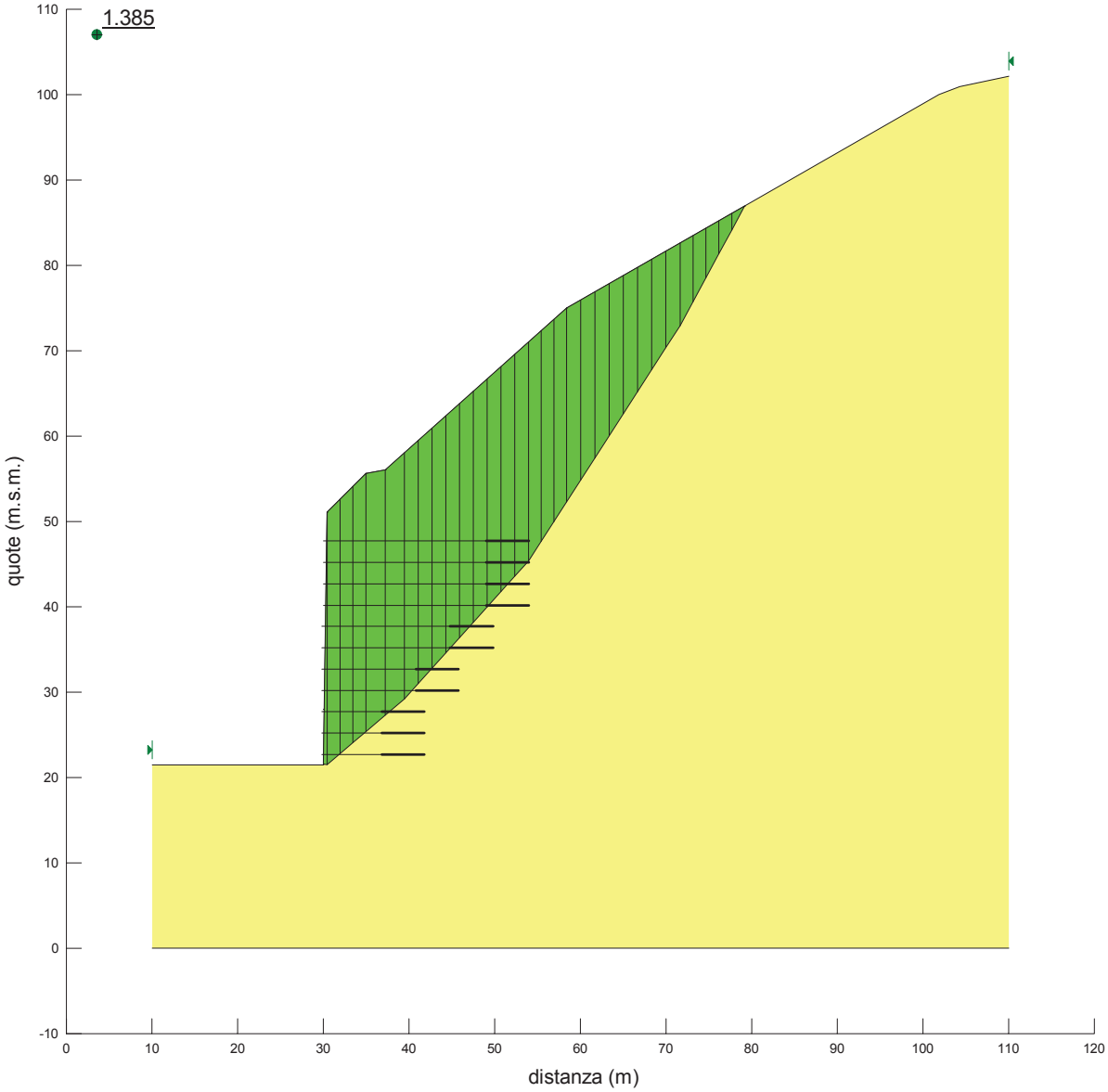


Figura A.3. – Sezione A: fase di esercizio - sezione esterna al cavo della galleria - (k_h = 0.114, k_v = 0.057- s.s n. 5)

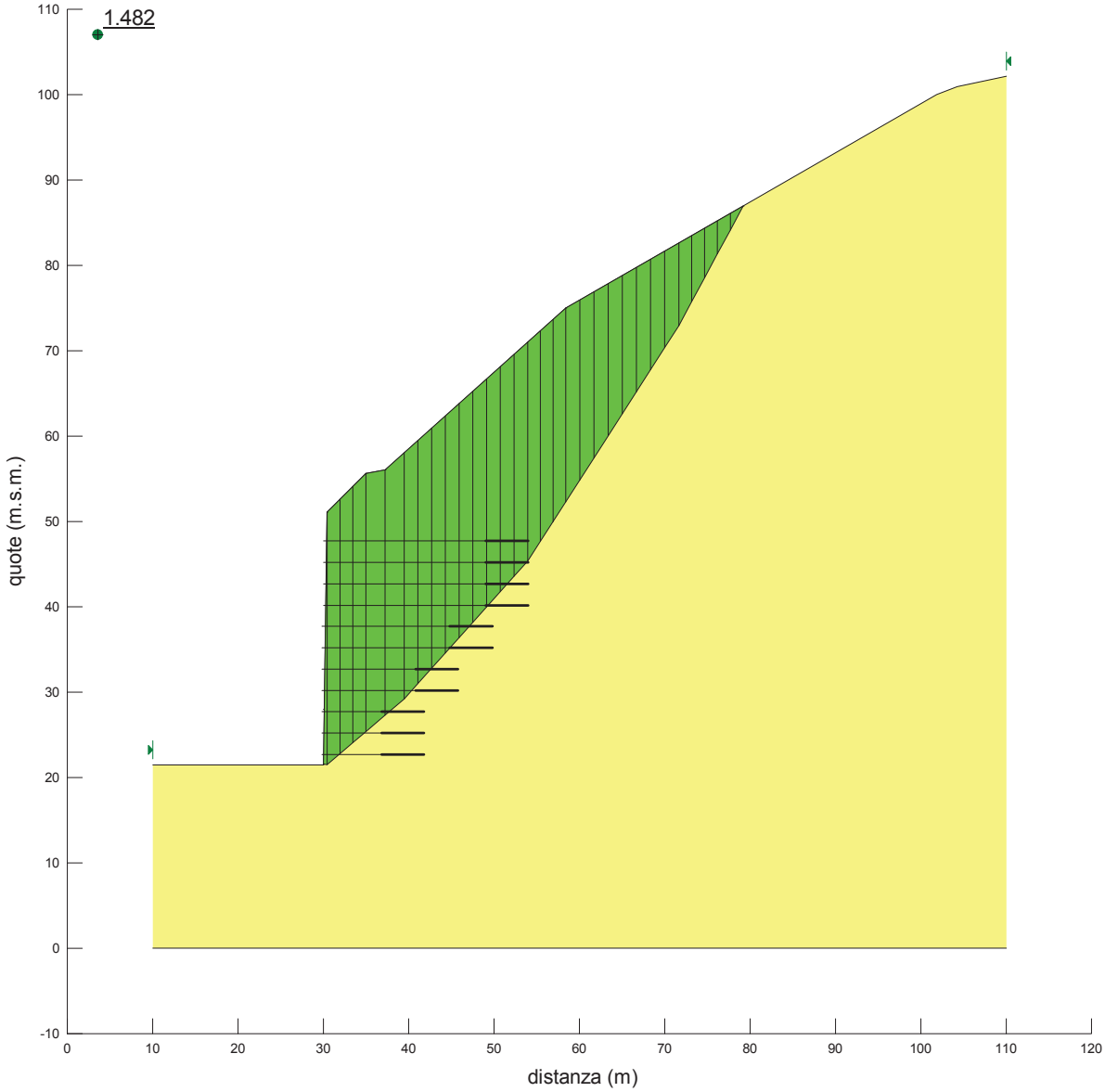


Figura A.4. – Sezione A: fase di esercizio - sezione esterna al cavo della galleria - (k_h = 0.114, k_v = -0.057- s.s n. 5)

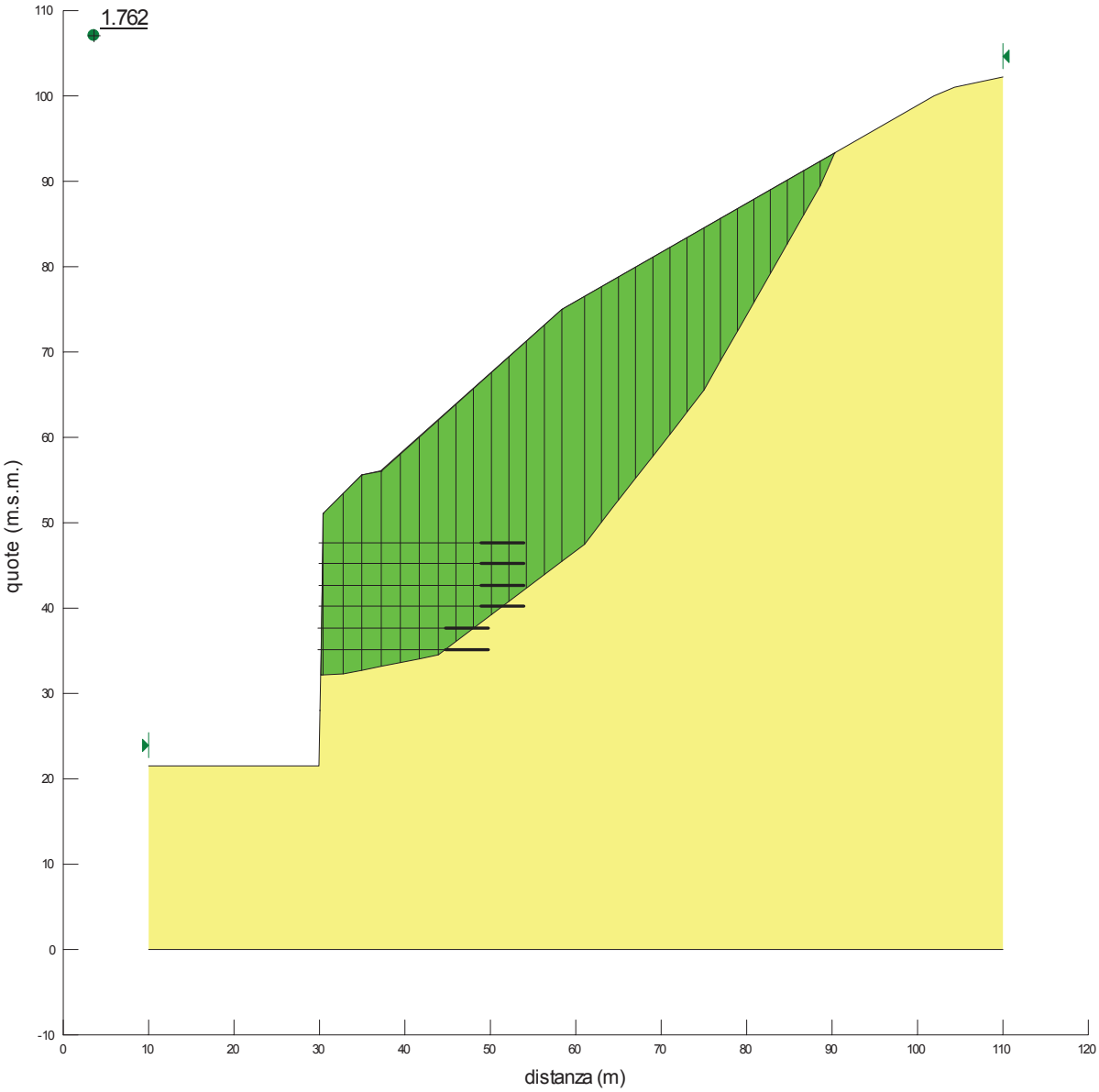


Figura A.5. – Sezione A: fase di esercizio - sezione considerata in asse alla galleria - (k_h = 0.114, k_v = 0.057- s.s n. 4 passante al di sopra della galleria)

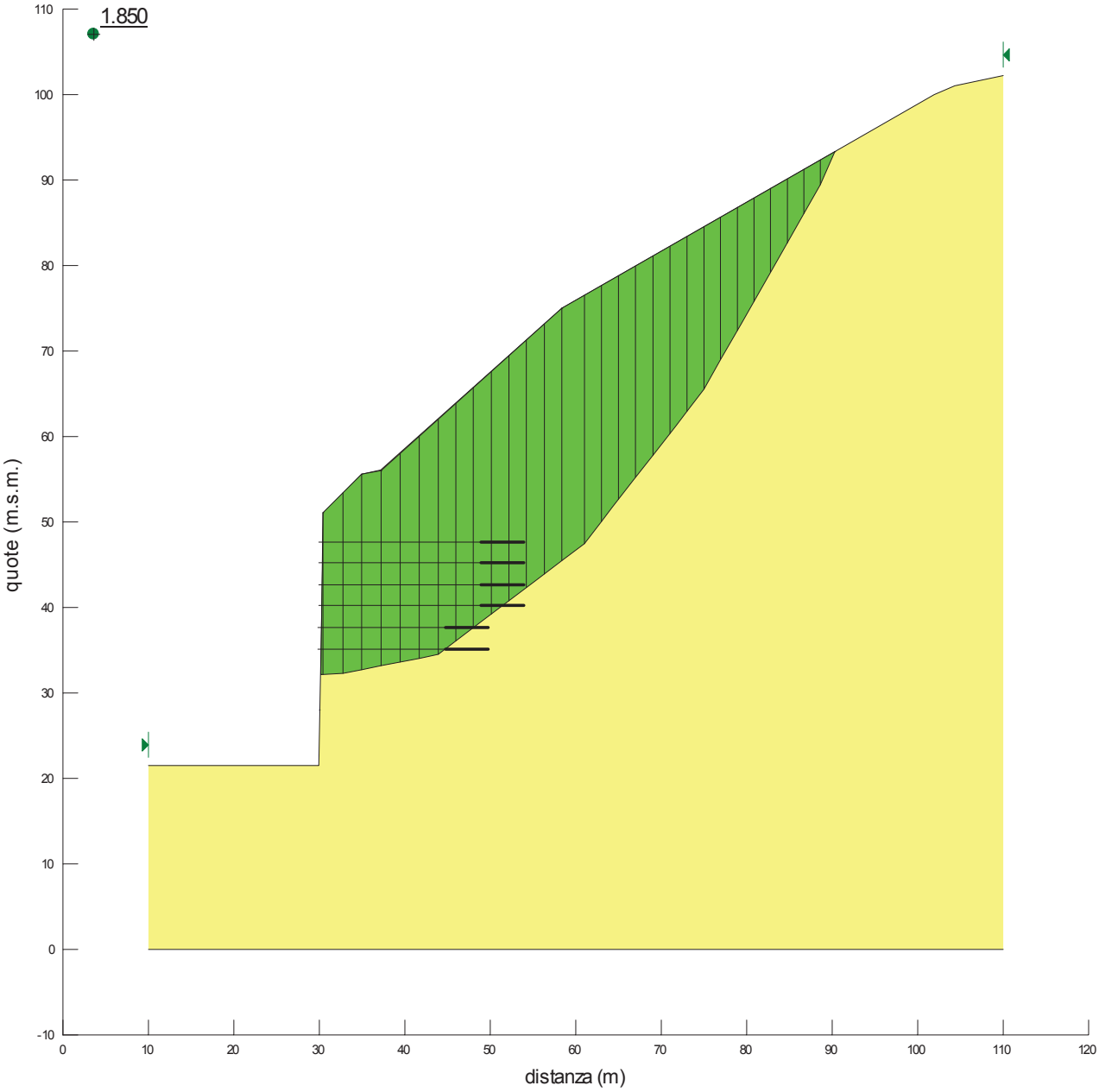


Figura A.6. – Sezione A: fase di esercizio - sezione considerata in asse alla galleria - (k_h = 0.114, k_v = -0.057- s.s n. 4 passante al di sopra della galleria)

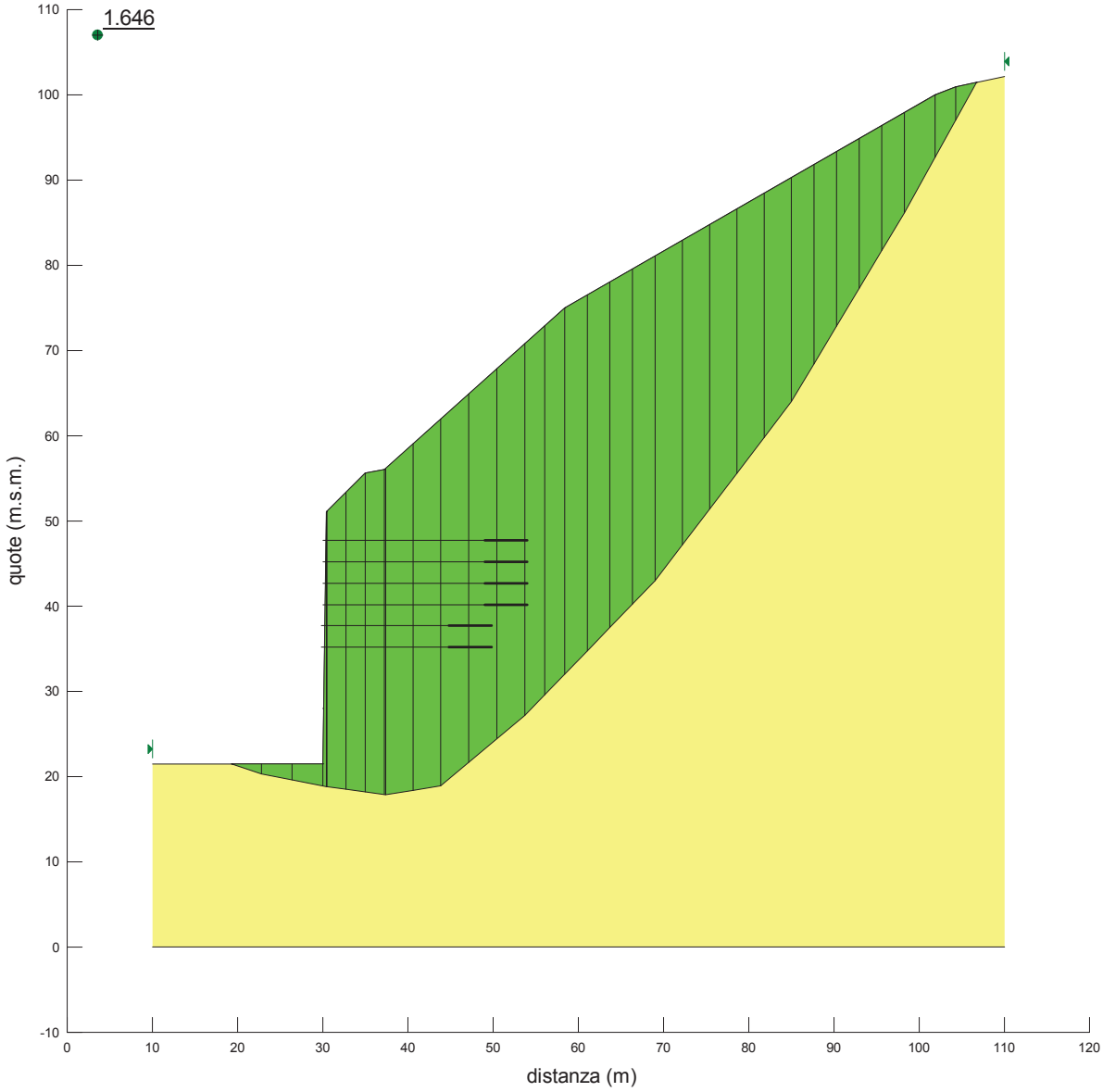


Figura A.7. – Sezione A: fase di esercizio - sezione considerata in asse alla galleria - (k_h = 0.114, k_v = 0.057- s.s n. 1 passante al di sotto della galleria)

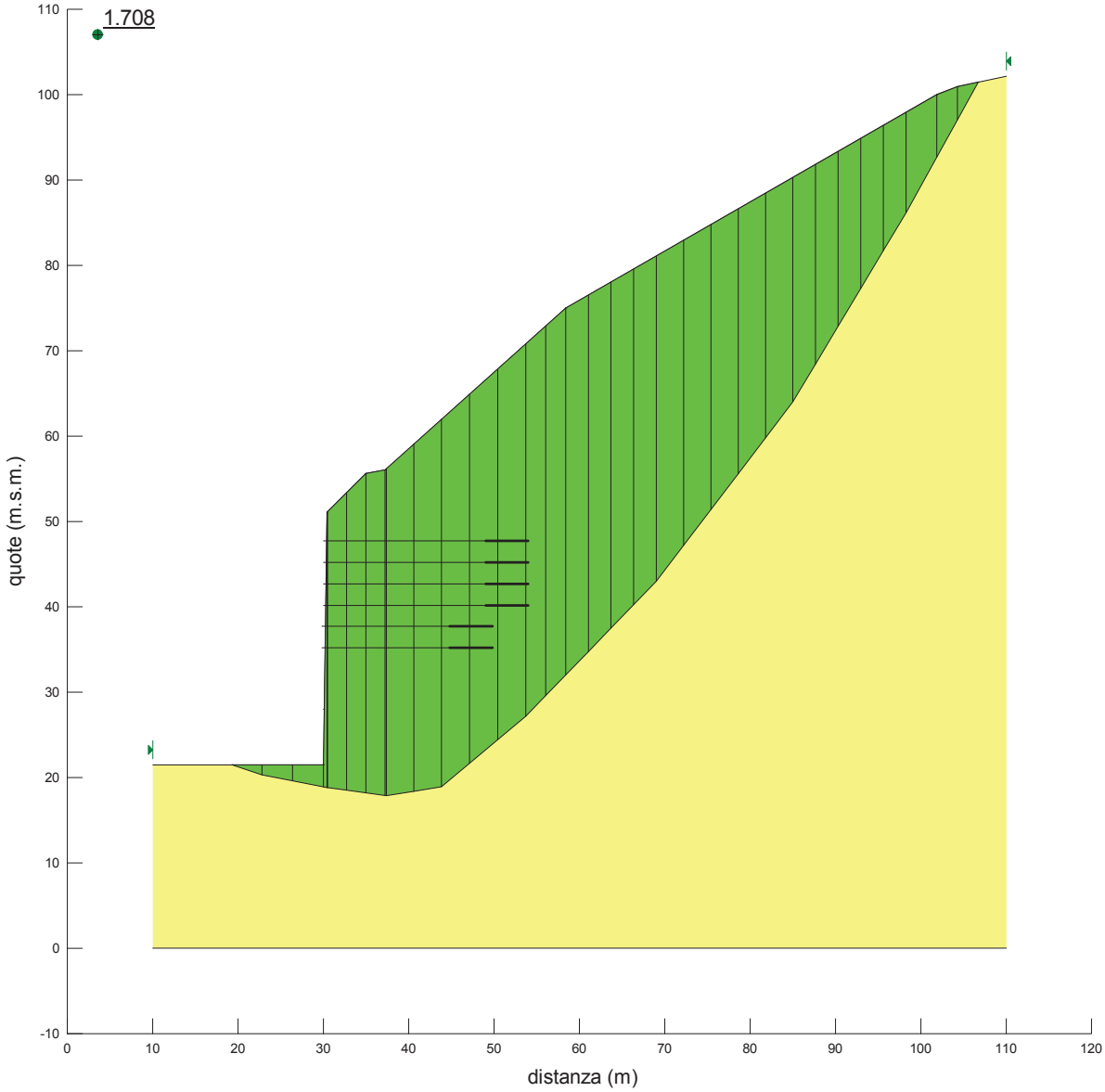


Figura A.8. – Sezione A: fase di esercizio - sezione considerata in asse alla galleria - (k_h = 0.114, k_v = -0.057- s.s n. 1 passante al di sotto della galleria)

Appendice B

Lato Finale - Sezione B:
figure relative alle analisi di stabilità globale

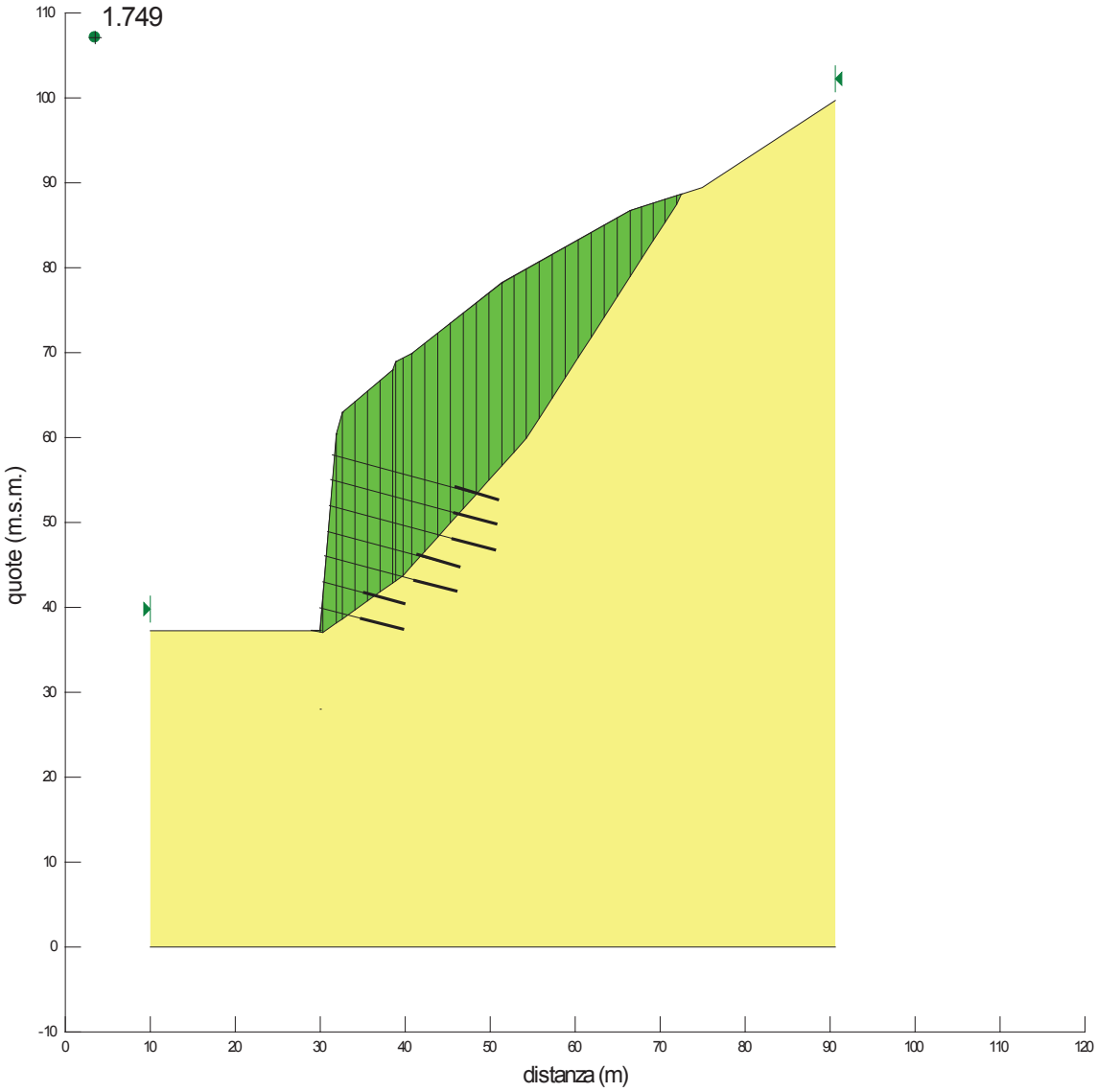


Figura B.1 – Sezione B: fase costruttiva - (k_h = 0.04, k_v = 0.02 - s.s n.5)

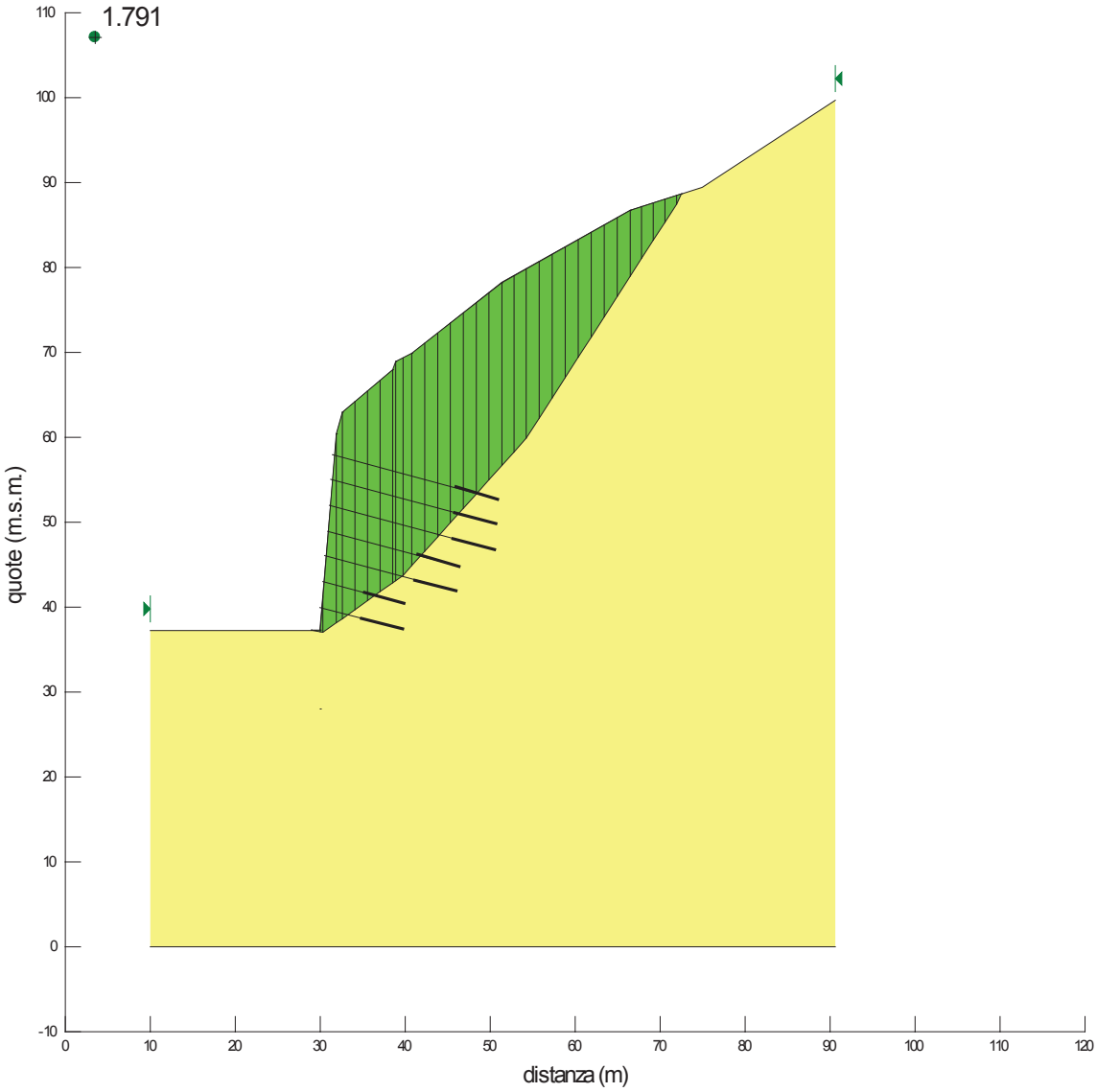


Figura B.2 – Sezione B: fase costruttiva - (k_h = 0.04, k_v = -0.02 - s.s n.5)

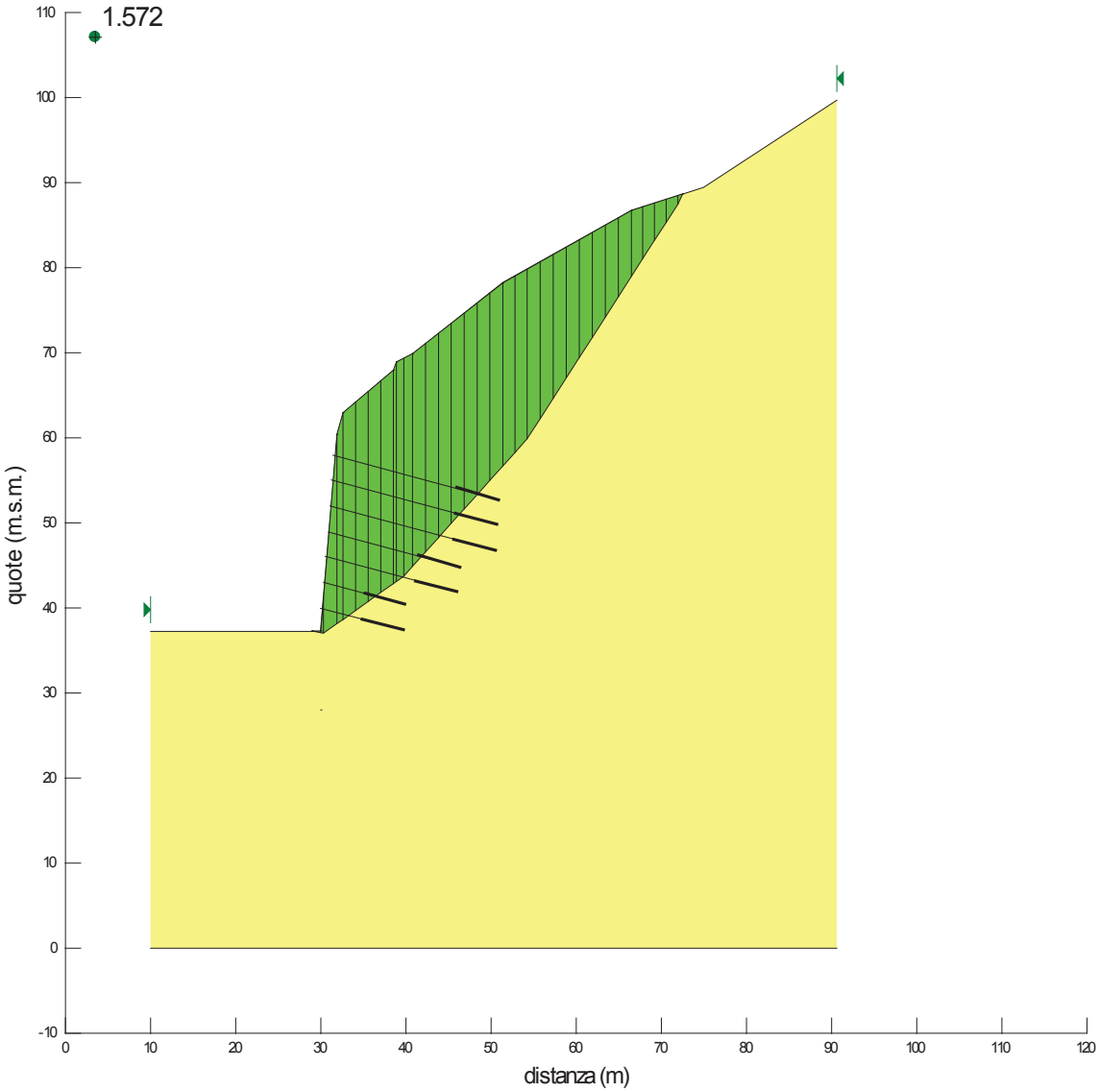


Figura B.3 – Sezione B: fase di esercizio - (k_h = 0.114, k_v = 0.057- s.s n. 5)

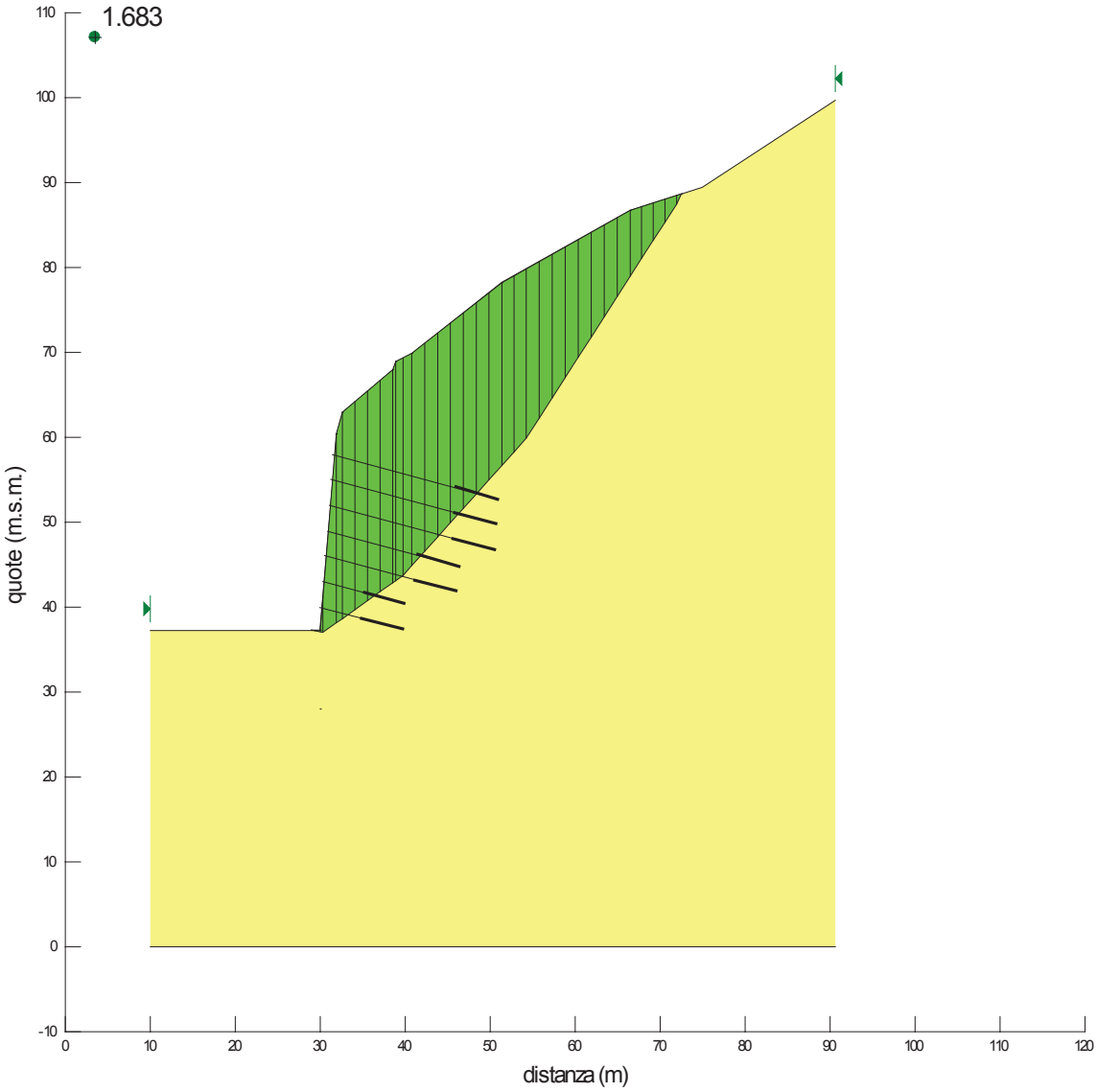


Figura B.4 – Sezione B: fase di esercizio - (k_h = 0.114, k_v = -0.057- s.s n. 5)

Appendice C

Lato Finale - Sezione C:
figure relative alle analisi di stabilità globale

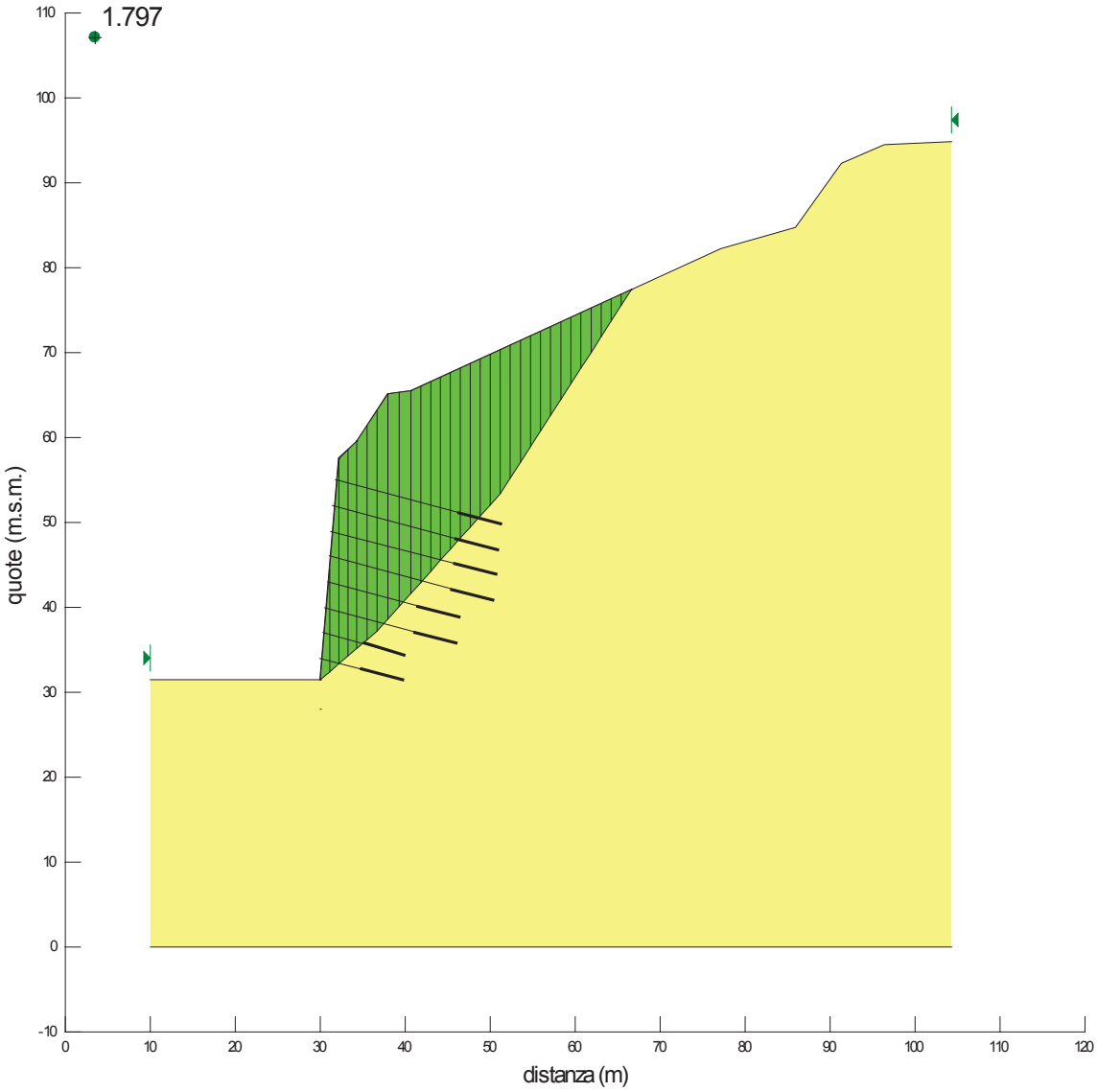


Figura C.1 – Sezione C: fase costruttiva - (k_h = 0.04, k_v = 0.02 - s.s n.5)

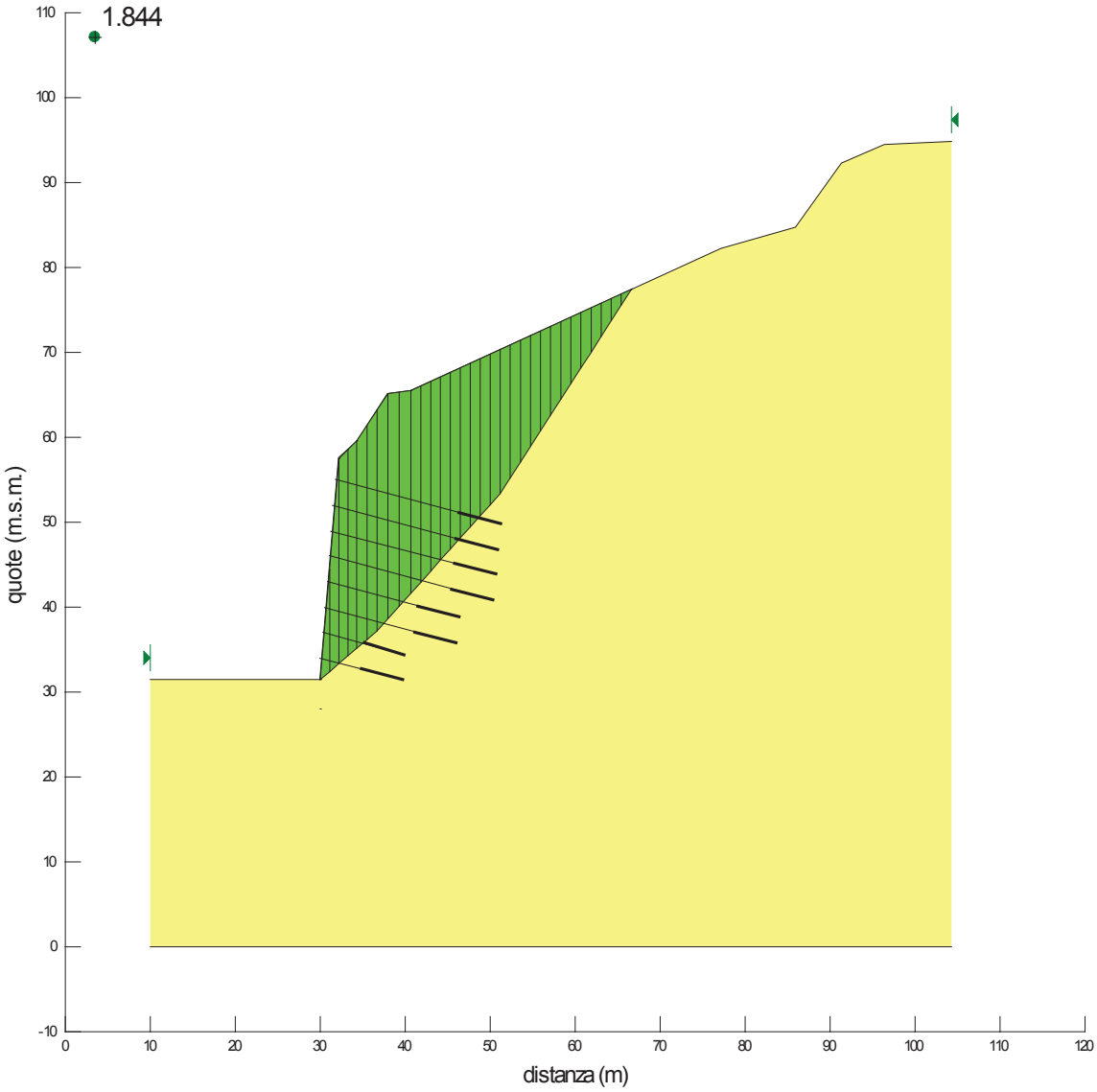


Figura C.2 – Sezione C: fase costruttiva - (k_h = 0.04, k_v = -0.02 - s.s n.5)

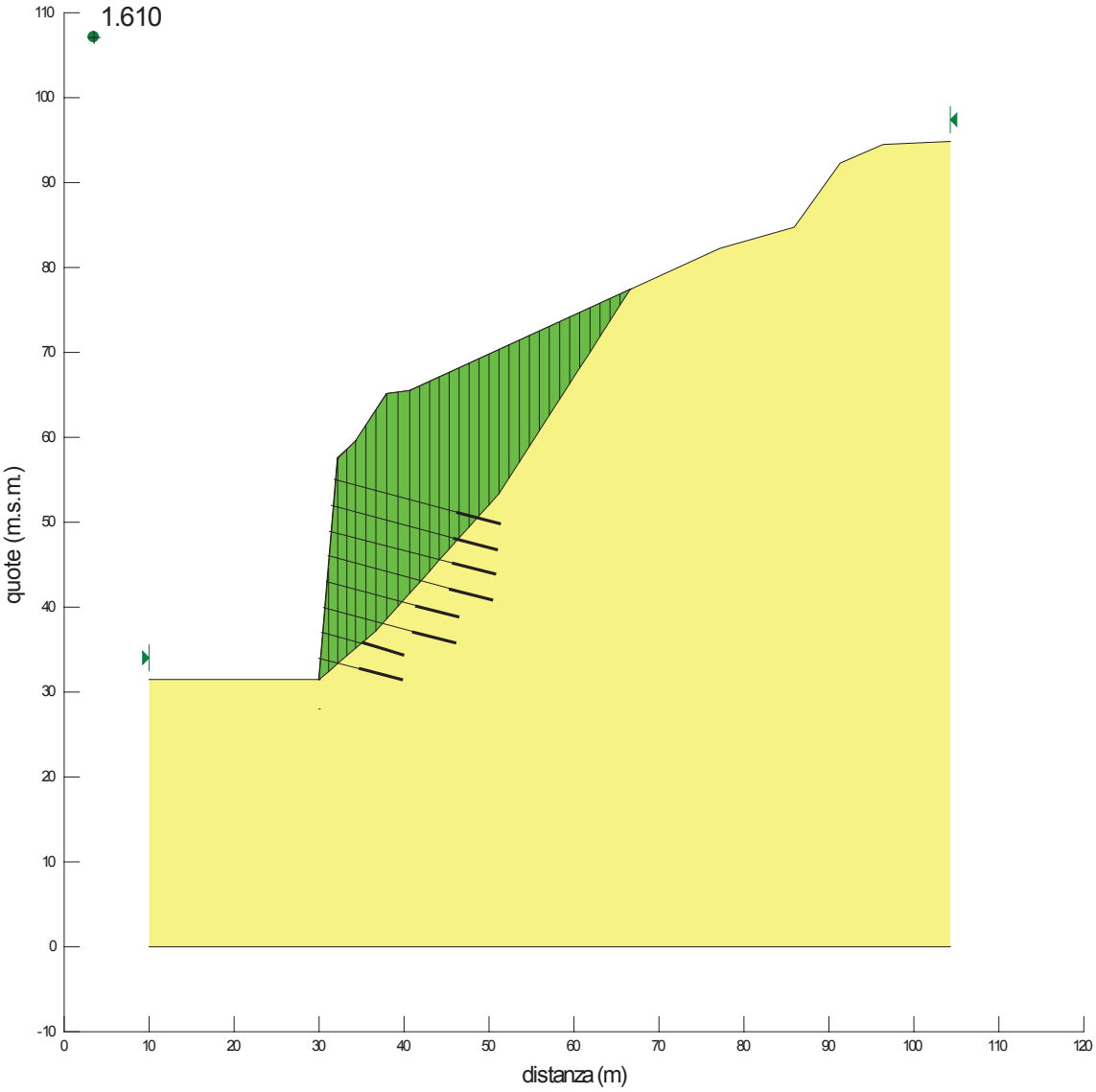


Figura C.3 – Sezione C: fase di esercizio - (k_h = 0.114, k_v = 0.057- s.s n. 5)

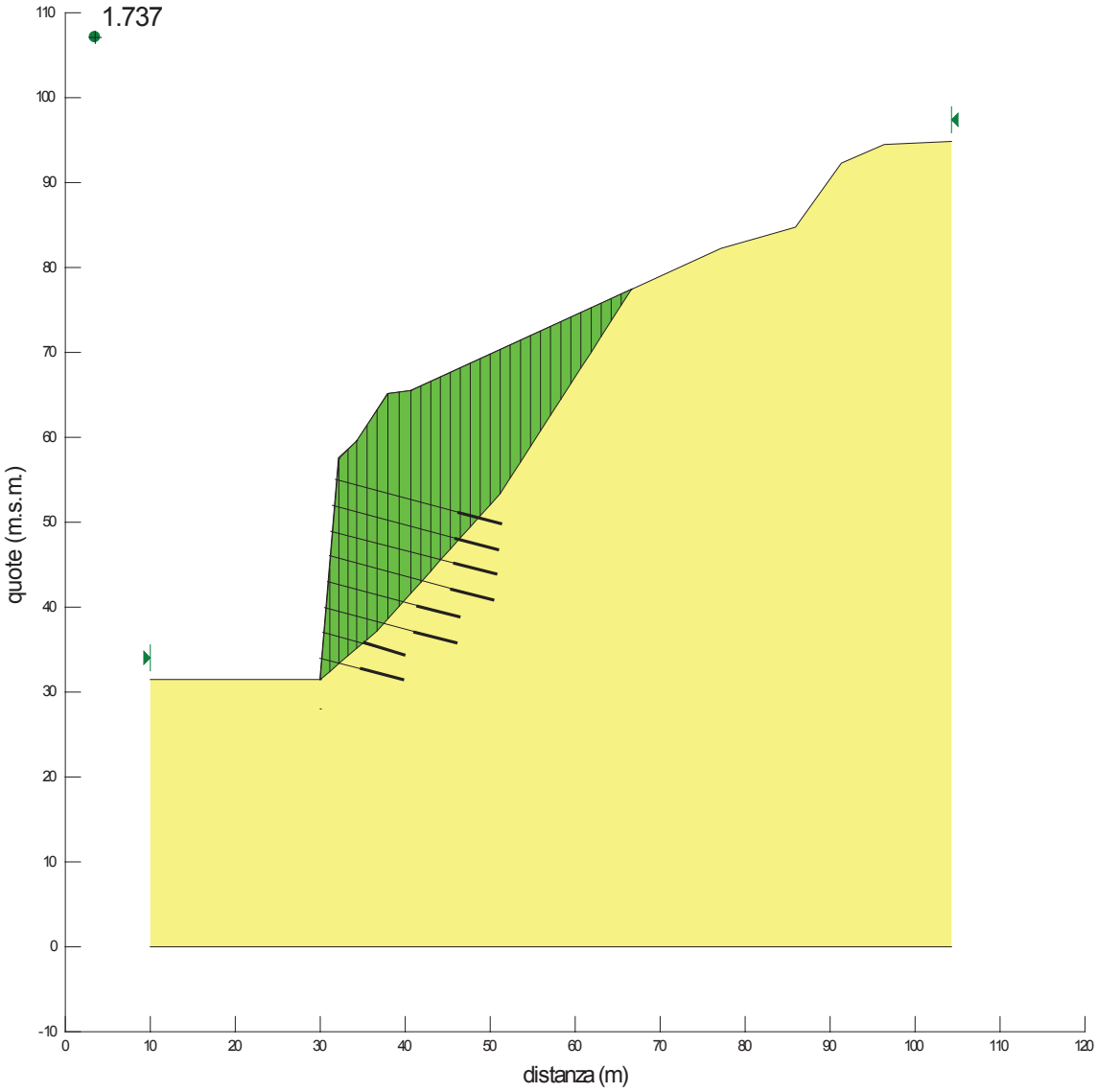


Figura C.4 – Sezione C: fase di esercizio - (k_h = 0.114, k_v = -0.057- s.s n. 5)