

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO ESECUTIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



sinergo

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL PROGETTISTA:

Ing. Alberto Rinaldi – Società Erre.vi.a. Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 16951

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Società Pro Iter Srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.vi.a. Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Dott. ing. Vincenzo Catone

PROTOCOLLO:

DATA:



07 - OPERE D'ARTE MINORI
07.06 - TO.01 - NUOVO TOMBINO SCATOLARE LATO UMBRIA

Relazione di calcolo scavi provvisionali

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00TM01STRRE02A.pdf		
LO702M	E	2101	CODICE ELAB. T00TM01STRRE02	A	-
D					
C					
B					
A	EMISSIONE		FEBBRAIO 2023	CASSANI	BONASIO RINALDI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA E DESCRIZIONE DELL'OPERA	1
2	NORMATIVA E CODICI DI RIFERIMENTO	2
2.1	Riferimenti normativi	2
2.2	Riferimenti bibliografici	2
3	PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA	3
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	4
4.1	Calcestruzzo per getti in opera (cordoli, rivestimenti)	4
4.2	Acciaio per cemento armato tipo B450C (anche per chiodi)	4
4.3	Acciaio per carpenterie metalliche S355	4
4.4	Malta cementizia per iniezione chiodature scavi armati	5
4.5	Spritz-beton (betoncino proiettato)	5
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	6
5.1	Stratigrafia di progetto.....	6
6	CARATTERISTICHE DI CALCOLO	7
6.1	Metodologia di calcolo – Paratie.....	7
6.2	Metodologia di calcolo – Stabilità globale	8
6.3	Sovraccarichi	8
6.4	Spinta delle terre e delle acque.....	8
6.5	Azione sismica di progetto.....	8
7	SCAVI ARMATI.....	9
7.1	Caratterizzazione generale	9
7.2	Sezioni di calcolo	10
7.3	Verifiche strutturali.....	10
7.4	Verifica degli spostamenti	14
7.5	Accettabilità dei risultati in ottemperanza al par. 10.2 delle NTC2018.....	15
8	ANALISI DI STABILITÀ.....	17
8.1	Scavo armato	17
8.2	Scavo non armato	18

1 PREMESSA E DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il presente documento analizza le condizioni di sicurezza degli scavi provvisori previsti nell'ambito dei lavori di costruzione del tombino scatolare lato Umbria, opera ascrivibile al progetto esecutivo per l'adeguamento a due corsie del tratto della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza – Mercatello Ovest (Lotto 3°) dell'itinerario internazionale E78 S.G.C. Grosseto - Fano.

L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di Parnacciano (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento.

A seconda della presenza o meno di pre-esistenze attigue, gli scavi in oggetto vengono eseguiti secondo due diverse tipologie: o inclinati a 45°, protetti con spritz-beton proiettato armato con doppio strato di rete elettrosaldata (per i quali, in caso di altezza di scavo superiore a 3 metri si prevede il posizionamento di chiodature provvisorie), oppure a 60°, consolidando il profilo di scavo con un intervento combinato di pareti chiodate con barre di ancoraggio passive e spritz-beton armato con doppio strato di rete elettrosaldata.

Le condizioni prese a riferimento per le sezioni di verifica sono quelle complessivamente più critiche per la stabilità: esse risultano rilevanti per l'intero scavo ed i risultati delle analisi, dunque, sono da intendersi applicabili ed estrapolabili per garantire condizioni di sicurezza per l'opera nel suo complesso.

La scarpata chiodata è costituita da chiodi f32mm posti ad interasse 1.5x2m (che diventa 1.5x1m in caso di scavi con altezza superiore a 8.00 m) di lunghezza 6 m e spritz-beton di spessore 15cm e doppia rete elettrosaldata f12mm 20x20cm. L'altezza massima di scavo è di circa 12 m.

In testa, per le altezze di scavo superiori a 3 m, si prevede un chiodo di rinforzo f32mm di lunghezza 6m ed interasse 2m.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.

2 **NORMATIVA E CODICI DI RIFERIMENTO**

I seguenti codici sono presi a riferimento per la progettazione

2.1 **Riferimenti normativi**

- Legge 5 Novembre 1971, N. 1086 – Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- D.M. 17/01/2018 – Norme tecniche per le Costruzioni (NTC)
- C.M. 21/01/2019 n.7/C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 17/01/2018

Tutte le Norme UNI richiamate nei D.M., Istruzioni, Circolari di cui si fa menzione.

2.2 **Riferimenti bibliografici**

Migliacci – F. Mola: “Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.” – Masson Italia Editori 1985

Bowles J.E. (1988): “Foundations Analysis and Design, 4th ed.” – McGraw-Hill, New York

Nova R. (2002): “Fondamenti di meccanica delle terre” – McGraw-Hill, Milano

Raccomandazioni A.I.C.A.P. (1993) – Ancoraggi nei terreni e nelle rocce

Terzaghi K. (1943): “Theoretical Soil Mechanics” – J.Wiley & Sons, New York

C. Cestelli Guidi: “Geotecnica e tecnica delle fondazioni” – Ulrico Hoepli Editore, 1987

3 PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA

RS2 rel. 2019 - edito da Rocscience Inc. Toronto, Ontario - Canada
Programma di calcolo geotecnico agli elementi finiti 2D

VCASLU versione 7.7 – distribuito dal Prof. Piero Gelfi
Programma di calcolo per le verifiche a presso-flessione a Stato Limite Ultimo e Stato Limite di Esercizio di sezioni in c.a. e c.a.p.

RC-Sec
Programma di calcolo per la verifica agli s.l. di sezioni in c.a distribuito dalla GeoStru-Software

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 Calcestruzzo per getti in opera (cordoli, rivestimenti)

Classe di resistenza	C32/40
Classe di esposizione	XC4-XD1-XF2
Classe di consistenza	S4
Contenuto minimo di cemento	340 kg/m ³
Massimo rapporto a/c	0.50
Copriferro netto	≥ 4 cm (altre strutture)
Diametro massimo inerte	25mm (elevazioni muri e cordoli)

Resistenza caratteristica a compressione cubica	$R_{ck} =$	40.00	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck}$	=	32 N/mm ²
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	=	40 N/mm ²
Modulo elastico	$E_c = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	=	33642.78 N/mm ²
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3}$	=	3.02 N/mm ²
Resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)	$f_{ctk} = 0.70 \times f_{ctm}$	=	2.12 N/mm ²

Stato Limite Ultimo

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_C =$	1.50	--
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc} =$	0.85	--
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_C$	=	18.13 N/mm ²
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C$	=	1.41 N/mm ²

Stato Limite di Esercizio

Tensione max di compressione - Comb. rara	$\sigma_c < 0.60 \times f_{ck}$	=	19.2 N/mm ²
Tensione max di compressione - Comb. quasi permanente	$\sigma_c < 0.45 \times f_{ck}$	=	14.4 N/mm ²

4.2 Acciaio per cemento armato tipo B450C (anche per chiodi)

Tensione caratteristica di rottura (frattile 5%)	$f_{tk} =$	540.00	N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento (frattile 5%)	$f_{yk} =$	450.00	N/mm ²
Stato Limite Ultimo			
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_S =$	1.15	--
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S$	=	391.30 N/mm ²
Stato Limite di Esercizio			
Tensione max di trazione	$\sigma_s < 0.80 \times f_{yk}$	=	360.00 N/mm ²

4.3 Acciaio per carpenterie metalliche S355

Resistenza caratteristica a snervamento	f_{yk} (N/mm ²)	355
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_{M0}	1.05

4.4 Malta cementizia per iniezione chiodature scavi armati

Bulbo di fondazione eseguito con iniezioni a gravita (IGU)

Resistenza a compressione (a 28 gg) $\geq 30 \text{ N/mm}^2$

4.5 Spritz-beton (betoncino proiettato)

Resistenza a compressione (a 28 giorni) C25/30 $\geq 30 \text{ MPa}$

Resistenza a compressione (dopo 24h) $\geq 12 \text{ MPa}$

Diametro massimo aggregati 11 mm

Energia assorbita (da prove di punzonamento su piastra) $\geq 500 \text{ joule}$

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 Stratigrafia di progetto

La trattazione completa della situazione geotecnica in prossimità delle opere in oggetto è riportata nella Relazione Geotecnica allegata al Progetto. Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici delle varie unità assunti nei calcoli.

Formazione	descrizione	sp	γ_n	c_k'	ϕ_k'	E
		[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]
COLTRE	Coltre detritica "dt"	2÷4	18	0	30	15
FMA alterata	Formazione marnoso-arenacea alterata	-	21	100	35	40

Tabella 1: Stratigrafia utilizzata nelle analisi (parametri caratteristici e di progetto Comb1)

Formazione	descrizione	sp	γ_n	c_k'	ϕ_k'	E_{vc}
		[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]
COLTRE	Coltre detritica "dt"	2÷4	18	0	24.8	15
FMA alterata	Formazione marnoso-arenacea alterata	-	21	80	29.3	40

Tabella 2: Stratigrafia utilizzata nelle analisi (parametri di progetto Comb2)

dove:

γ_n	peso di volume naturale
sp	Spessore dello strato
c'	coesione drenata
c_u	coesione non drenata
ϕ'	angolo di attrito efficace
E	modulo elastico

La falda di progetto è profonda rispetto al piano campagna ed inoltre vengono previsti dreni sub-orizzontali per far defluire eventuali falde sospese.

6 CARATTERISTICHE DI CALCOLO

6.1 Metodologia di calcolo – Paratie

Il dimensionamento delle paratie è stato condotto utilizzando il metodo agli stati limite secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, il D.M. 17.01.2018. Tale normativa impone una doppia verifica, agli Stati Limite d'Esercizio e agli Stati Limite Ultimi. Nelle condizioni di esercizio si verifica che le deformazioni risultino ammissibili per le strutture e per i terreni in sito, considerando valori caratteristici sia dei carichi sia dei parametri del terreno, mentre agli S.L.U., la normativa impone di considerare almeno i seguenti stati limite:

- collasso per rotazione attorno ad un punto dell'opera;
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia;

accertando che sia soddisfatta, per ogni stato limite considerato, la condizione:

$$E_d < R_d$$

dove E_d e R_d rappresentano rispettivamente le sollecitazioni e le resistenze di progetto, calcolate tenendo in conto dei coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici riportati nelle seguenti tabelle:

carichi	effetto	coeff. parziale	EQU	A1	A2
Permanenti	favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 3: Tabella 6.2.I delle N.T.C. 2018.

parametro	simbolo	coeff. parziale	M1	M2
tangente angolo di attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	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 unità di volume	γ	γ_{γ}	1.00	1.00

Tabella 4: Tabella 6.2.II delle N.T.C. 2018.

In fase statica le verifiche sono state effettuate adottando le seguenti combinazioni di coefficienti. Il segno '+', in ossequio alla nuova normativa, ha il significato di 'combinato con'.

Combinazione	
Comb1	A1+M1+R1
Comb2	A2+M2+R1

Tabella 5: Combinazioni statiche utilizzate nelle analisi.

I coefficienti parziali sulle resistenza, associati al caso 'R1', sono pari a 1.

Le verifiche sismiche vengono condotte imponendo pari ad uno tutti i coefficienti A della combinazione sottostante.

Combinazione

Tabella 6: Combinazione sismica utilizzata nelle analisi.

6.2 Metodologia di calcolo – Stabilità globale

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è effettuata secondo l'approccio 1, combinazione2:

$$A2+M2+R2$$

Il coefficiente parziale sulle resistenze, associato al caso 'R2', è pari a 1.1. Nelle verifiche di stabilità globale, quindi, il fattore di sicurezza minimo da raggiungere, dopo aver fattorizzato i carichi ed i parametri secondo 'A2' e 'M2' rispettivamente, è pari a 1.1.

In fase sismica, l'analisi viene condotta ponendo pari ad uno tutti i coefficienti A ed M e cercando un fattore di sicurezza pari a 1.2.

6.3 Sovraccarichi

A monte della paratia è stato modellato il versante laddove presente; inoltre in presenza della strada a tergo dell'opera di sostegno è stato applicato un sovraccarico accidentale caratteristico pari a 20 kPa.

Per quanto riguarda i sovraccarichi, i coefficienti parziali A1 ($g_R=1.3$) sono stati applicati agli effetti delle azioni e quindi alle sollecitazioni ottenute dai modelli di calcolo FEM. Limitatamente ai sovraccarichi accidentali, i cui coefficienti parziali da normativa sono pari a 1.5 per la combinazione A1+C1, nei modelli di calcolo sono stati applicati valori moltiplicati per un fattore $1.5/1.3=1.15$ in modo da ottenere complessivamente un coefficiente sui sovraccarichi pari a 1.5. Cautelativamente questi modelli sono stati considerati anche per le verifiche in esercizio e per la stima degli spostamenti.

In sostanza, quindi, di seguito i coefficienti considerati nei modelli di calcolo per i sovraccarichi accidentali (q_{calc}):

Sovraccarico accidentale tipo	q_k (kPa)	Combinazione	q_{calc} (kPa)
Variabile	10	A1+C1	11.5
		A1+C2	13

6.4 Spinta delle terre e delle acque

La spinta del terreno è calcolata automaticamente dal software di calcolo sulla base dei parametri geotecnici dei terreni inseriti dall'utente. Tali parametri sono stati inseriti nel software già moltiplicati per i coefficienti parziali indicati dalla normativa, D.M. 17.01.2018, per le diverse combinazioni.

Anche la presenza della falda è stata valutata in automatico dal programma di calcolo sulla base delle quote del livello di falda inserito nel modello.

6.5 Azione sismica di progetto

Trattandosi di opera provvisoria non è stato considerato il caso sismico.

7 SCAVI ARMATI

7.1 Caratterizzazione generale

Per il raggiungimento della quota di imposta delle fondazioni è previsto uno scavo armato sub-verticale di altezza variabile realizzato con chiodi Ø32mm, L=6mm, i=1.5x2m disposti a quinconce.

I primi 2 ordini di chiodature, per un'altezza di scavo maggiore di 8 m, sono previsti ad interasse longitudinale di 1 m anziché 2 m a causa della possibile presenza della coltre detritica superficiale: nei calcoli è stato considerato in ogni caso cautelativamente un interasse longitudinale di 2 m.

L'altezza massima risulta pari a 12 m circa. La scarpata dovrà essere ricoperta da uno strato di spritz-beton di spessore 15cm da realizzare nelle medesime fasi dei singoli scavi di approccio per l'esecuzione dei chiodi.

Ai sensi del cap.2.4.1 delle NTC2018, le verifiche sismiche di opere temporanee e provvisorie, o in fase di costruzione, possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

Caratteristiche generali

Altezza di scavo massima	12 m
Diametro chiodi	32mm
Lunghezza chiodi	6 m
Interasse chiodi	1.5x2 m (HxB)
Spritz beton	Sp. 20cm con doppia rete elettrosaldata

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.

Forze resistenti dovute ai chiodi

Per le combinazioni agli S.L.U. si assume un fattore parziale sull'acciaio di 1.05 rispetto al limite di snervamento. Si ottiene in tal modo la seguente forza ultima per ciascuna barra.

$$T_{d-barre} = \frac{f_{pyk}}{\gamma_m} \cdot A_p = \frac{450N/mm^2}{1.05} \cdot 804mm^2 = 344 kN$$

Nei calcoli è stata assunta una forza massima di progetto cautelativamente pari a 300 kN: tale forza non è stata mai superata nei calcoli svolti.

Fasi di costruzione

Di seguito si riportano le fasi della modellazione adottate nel software di calcolo che simulano le operazioni di cantiere che si svolgeranno durante la realizzazione dell'opera.

Stage 1: CONDIZIONE GEOSTATICA

Corrisponde alla fase geostatica iniziale.

Stage successivi: SCAVI PARZIALI ED ESECUZIONE SPRITZ BETON

Per ciascun ordine di chiodi, viene modellato uno scavo parziale di altezza massima 1.5 m circa e la contestuale realizzazione dello spritz-beton, modellato con un elemento 'liner' avente le caratteristiche del calcestruzzo spruzzato (classe di calcestruzzo C25/30 e spessore 15 cm).

Stage successivi: REALIZZAZIONE CHIODI

Viene modellata la realizzazione dei chiodi per ordini dopo l'esecuzione dei singoli scavi di approccio. I chiodi sono realizzati perpendicolarmente alla superficie di scavo, quindi con un'inclinazione sull'orizzontale pari a circa 30°.

I due stage precedenti si ripetono fino al raggiungimento della quota di fondo scavo di progetto.

Modello FEM

I tiranti previsti sono di tipo passivo e vengono armati con tubolari barre Ø32 mm ed hanno una lunghezza complessiva 6 m.

Nelle analisi di seguito descritte, i chiodi sono stati definiti dai seguenti parametri:

- Diametro delle barre: $\phi 32$ mm (area 804 mm²)
- Modulo elastico delle barre (E): 200.000.000 kPa
- Massima trazione sulla singola barra: 300 kN
- Residua trazione dopo la rottura: trascurabile
- Interasse fuori piano: 2 m
- Forza di pretensionamento: nulla

Nel programma FEM i chiodi sono stati considerati come un rinforzo locale dei terreni; trattandosi di modelli agli elementi finiti, la forza assiale lungo ciascun elemento è dato dall'allungamento (Δu) a cui viene sottoposto dai carichi esterni. La forza assiale (F_{ax}) è definita dalla seguente equazione, in cui oltre agli altri parametri già indicati 'L' rappresenta la lunghezza degli elementi in cui i singoli chiodi vengono discretizzati.

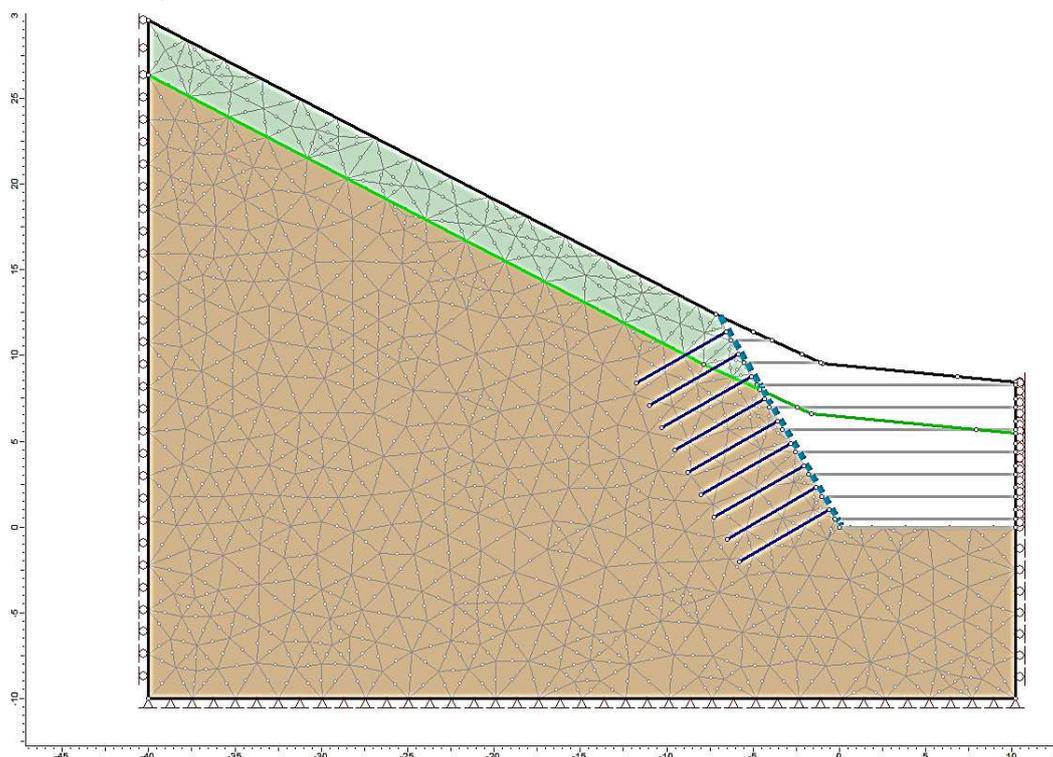
$$F_{ax} = \frac{A \cdot E}{L} \cdot \Delta u$$

Nei calcoli svolti la massima azione assiale consentita dalle barre adottate non è mai stata superata. I grafici seguenti riportano l'andamento delle azioni per la sezione di calcolo.

7.2 Sezioni di calcolo

E' stata considerata n. 1 sezione di calcolo che rappresenta la situazione più sfavorevole con un'altezza di circa 12m.

Di seguito il modello input considerato.



Sezione Scavo Armato – Modello di calcolo

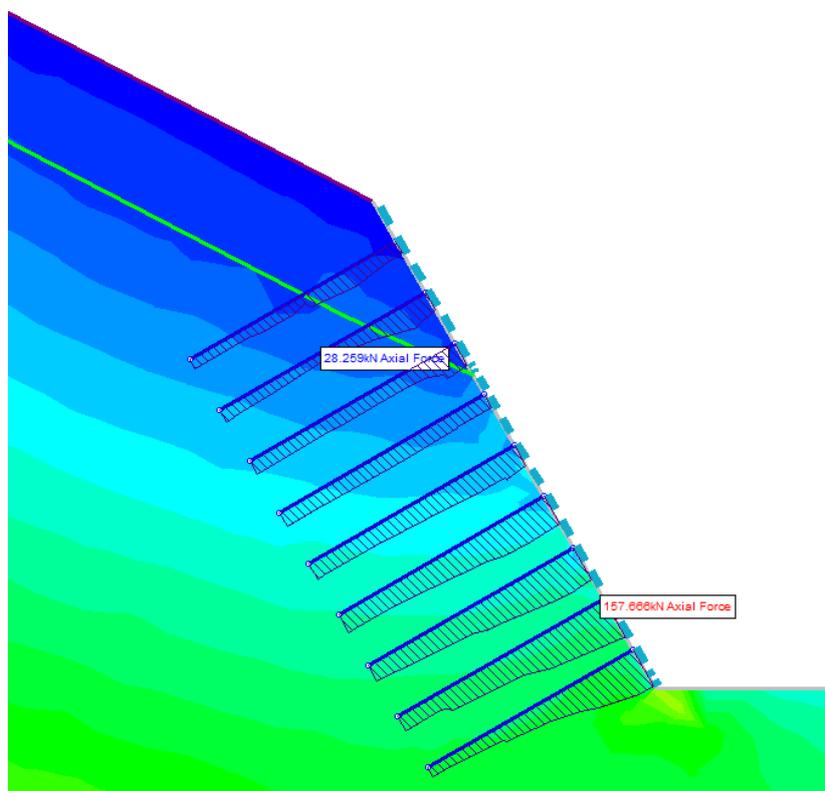
7.3 Verifiche strutturali

Sono state considerate le seguenti combinazioni relative all'Approccio 1 come da NTC 2018:

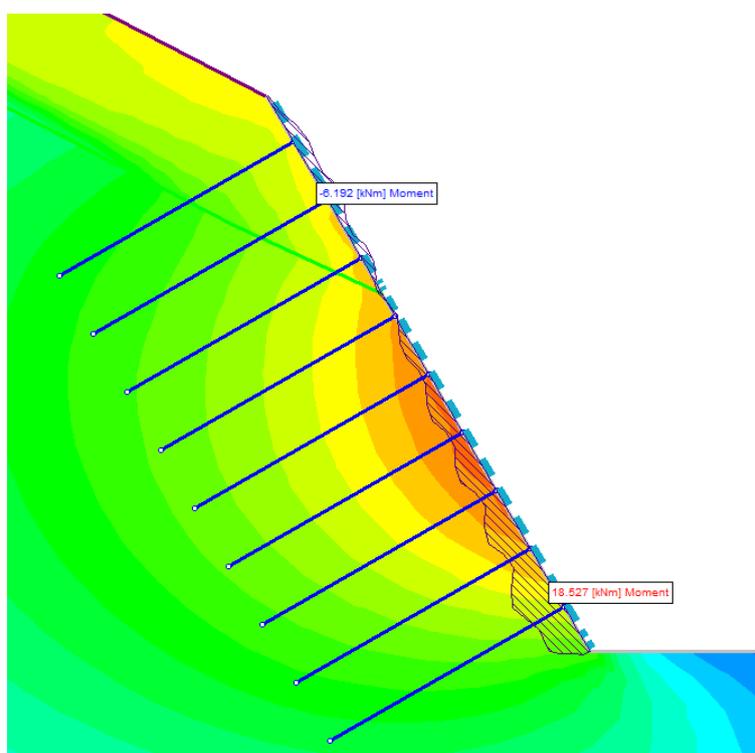
- A1+M1+R1 (A1-C1)

- A2+M2+R1 (A1-C2)

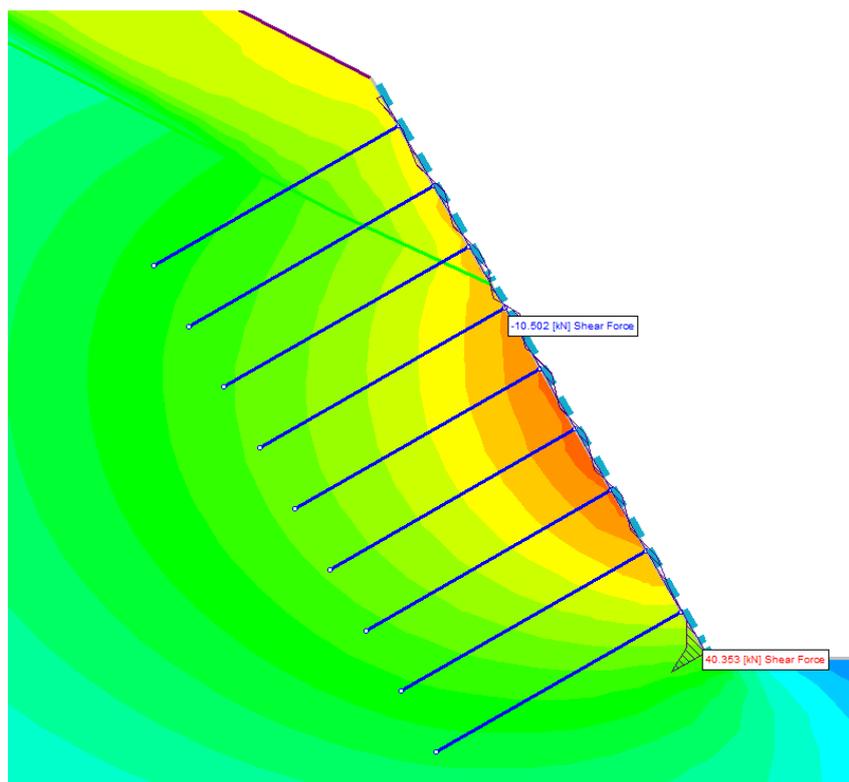
I valori riportati nei grafici seguenti si riferiscono alla combinazione più sfavorevole (A1+M1+R1). Le azioni desunte da tale combinazione sono considerate per le verifiche SLE, mentre per ottenere i valori SLU si devono moltiplicare le sollecitazioni per un coefficiente 1.3.



Azioni assiali sui chiodi (comb1)



Momento flettente lungo lo spritz beton (comb1)



Sezione– Azione di taglio lungo lo spritz beton (comb1)

Nelle tabelle seguenti si riassumono le sollecitazioni risultanti sulla scarpata chiodata.

Comb	Sezione 1	
	N (kN)	
SLE	158	
SLU A1C1	205	
SLU A1C2	163	

Scarpata chiodata: sintesi sollecitazioni assiali sui chiodi

Comb	Sezione 1	
	M (kNm/m)	V (kN/m)
SLE	18.5	40
SLU A1C1	24.1	52
SLU A1C2	19	48

Scarpata chiodata: sintesi sollecitazioni sullo spritz beton

Si riportano di seguito le verifiche strutturali dello spritz-beton armato con doppia rete elettrosaldato $\phi 12$ 20x20cm. I tassi di lavoro risultano soddisfatti alla luce del carattere provvisorio dell'opera.

Verifiche a pressoflessione SLE

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	150

N°	As [mm²]	d [mm]
1	565	25
2	565	125

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.
 DXF

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

Solecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 24 18,5 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] xN 0 yN 0

Materiali
 B450C C25/30
 ε_{su} 67,5 % ε_{c2} 2 %
 f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,957 % σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

σ_c -8,011 N/mm²
 σ_s 294,2 N/mm²
 ε_s 1,471 %
 d 125 mm
 x 36,25 x/d 0,29
 δ 0,8025

Verifiche a pressoflessione SLU

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [mm]	h [mm]
1	1000	150

N°	As [mm²]	d [mm]
1	565	25
2	565	125

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.
 DXF

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 mm Col. modello
 Precompresso

Solecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 24,1 18,5 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[mm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
 B450C C25/30
 ε_{su} 67,5 % ε_{c2} 2 %
 f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,957 % σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

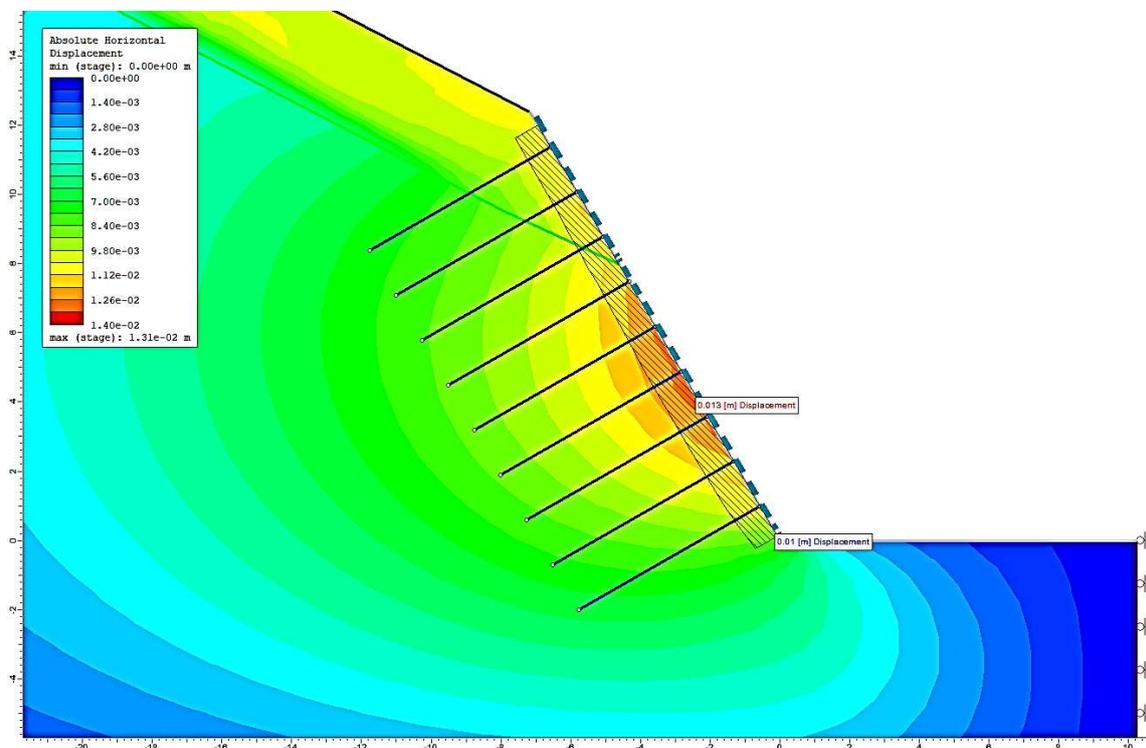
M_{xRd} 26,16 kN m
 σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 3,5 %
 ε_s 15,76 %
 d 125 mm
 x 22,72 x/d 0,1817
 δ 0,7

Verifiche a taglio SLU

VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2018 (§ 4.1.2.1.3)			
Caratteristiche dei materiali:			
Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	30 N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	24,90 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	14,11 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	391,30 N/mm ²
Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):			
Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	=	39,00 kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}	$N(V_{Ed})$	=	36,00 kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}	$M(V_{Ed})$	=	161,00 kNm
Caratteristiche geometriche della sezione:			
Altezza utile della sezione	d	=	125 mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	1000 mm
Armatura della sezione in zona tesa:			
Diametro ferri longitudinali	\emptyset	=	0 mm
Numero tendini longitudinali utilizzati	n	=	0 --
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	0 mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0,0000 --
VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)			
Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	2,00 --
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0,49 N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	0,29 N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	67,15 kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	67,15 kN
VERIFICA SODDISFATTA: non occorre armatura trasversale resistente a taglio.			

7.4 Verifica degli spostamenti

Di seguito si riportano i massimi spostamenti calcolati in fase statica per le sezioni considerate.



Sezione – Spostamenti orizzontali

I valori degli spostamenti calcolati, pari a 1.5 cm circa, sono ritenuti ammissibili per l'opera in progetto e per la tipologia di terreno presente in sito, alla luce anche del carattere provvisorio degli scavi.

7.5 Accettabilità dei risultati in ottemperanza al par. 10.2 delle NTC2018

Verifiche generali sul software

Nella presente Relazione di calcolo è stato riportato il dimensionamento delle paratie in esame eseguito mediante l'uso del codice di calcolo agli Elementi Finiti RS2 edito dalla RocScience.

Nel presente capitolo vengono esposti i criteri di accettabilità dei risultati secondo quanto richiesto dal Par. 10.2 delle NTC 2018.

Il codice di calcolo utilizzato è stato realizzato da una delle più note società di ingegneria geotecnica nel mondo (RocScience) che ha nel tempo progressivamente migliorato il software RS2 fino all'ultima release utilizzata dagli scriventi. Le validazioni del software sono ampiamente riportate nei manuali tecnici del programma scaricabili direttamente dal sito www.rocscience.com, a cui si può accedere per verificare direttamente tale documentazione ufficiale.

Verifiche sui modelli di calcolo

Di seguito si riportano alcune grandezze desunte dal programma che si possono ritenere analoghe ad un calcolo manuale. Ci si riferisce per semplicità alla scarpata chiodata di altezza 12 m e alla combinazione di carico (Comb. A1+M1+R1), ma le conclusioni possono essere estese anche alle altre sezioni/combinazioni.

Di seguito si confrontano i valori delle pressioni della spinta attiva agente sulla paratia a monte che schematizza lo spritz-beton con i valori calcolati manualmente secondo le classiche formule della geotecnica. Sono state considerate le spinte sia considerando il coefficiente di spinta attiva, sia considerando il coefficiente di spinta a riposo.

Spinta attiva

$$\sigma_A = \gamma \cdot z \cdot k_a - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_a} + q \cdot k_a$$

Spinta a riposo

$$K_0 = 1 - \tan\phi'$$

Considerando un angolo di attrito di 30° fino a circa -3m da testa-paratia e di 35° fino a fondo scavo, a monte si ha:

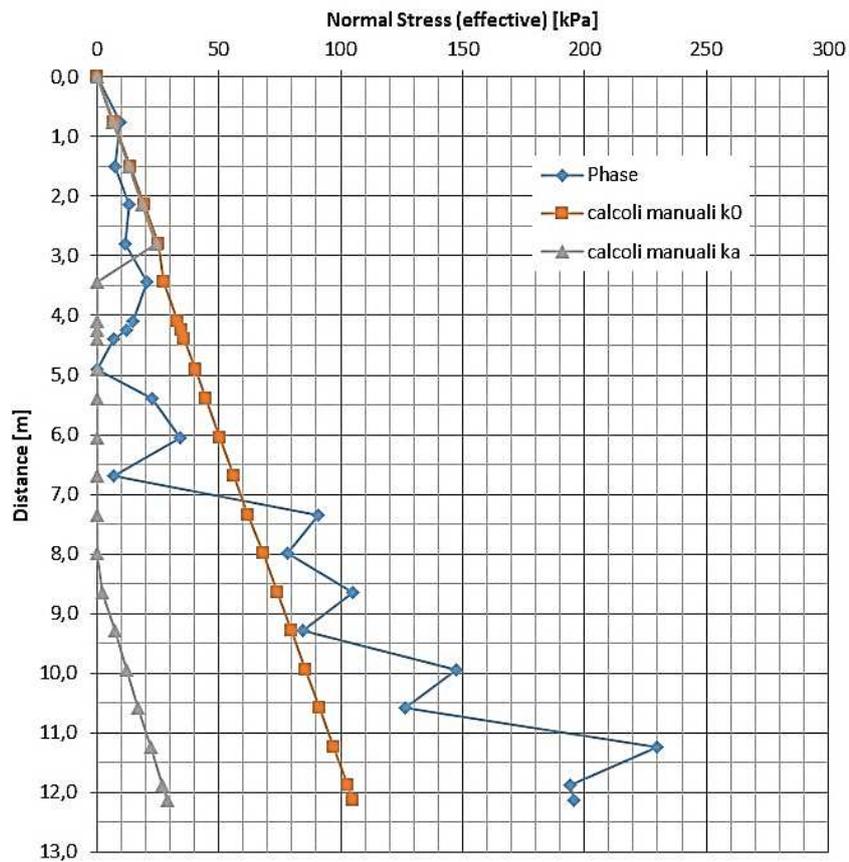
$$K_0 = 0.36 - 0.48$$

$$K_a = 0.426 - 0.5$$

In corrispondenza del substrato alterato è stata considerata la coesione indicata nella caratterizzazione geotecnica.

Il grafico seguente confronta l'andamento della spinta attiva agente sulla parete di monte calcolata dal software con i valori calcolati con le formule appena riportate nello stage di massimo scavo.

Nei calcoli è stato considerato un γ del terreno pari a 20 kN/m³.



Spinta a monte lungo lo spritz-beton

Come visibile nel grafico la spinta del modello di calcolo risulta in linea con l'andamento teorico in regime di spinta attiva e a riposo, mantenendosi sostanzialmente a cavallo delle due curve fino alla profondità di 7-9 m da piano campagna. Oltre tale profondità la spinta valutata dal modello di calcolo aumenta rispetto ai valori teorici e quindi risulta cautelativa: tali picchi si verificano nella parte inferiore della scarpata in presenza delle forze maggiori sui chiodi di ancoraggio dove presumibilmente la spinta individuata dal modello si avvicina alla spinta passiva teorica.

Sulla base di queste considerazioni, la verifica di accettabilità risulta quindi soddisfatta.

8 ANALISI DI STABILITÀ

Nel presente capitolo vengono analizzate entrambe le tipologie di scavi presenti in progetto: scarpata chiodata ($\alpha=60^\circ$ e $H_{max}=12m$ circa) e scavo a cielo aperto ($\alpha=45^\circ$ e $H_{max}=5.5m$ circa)

Secondo quanto indicato dalla normativa vigente, le verifiche di stabilità sono state condotte agli S.L.U. secondo l'Approccio 1, Combinazione 2:

A2 + M2 + R2

I coefficienti parziali da adottare vengono di seguito riassunti.

- Coefficienti parziali sulle azioni corrispondenti alle combinazioni GEO in fase statica
- Coefficienti parziali M2 da applicare ai parametri geotecnici del terreno:

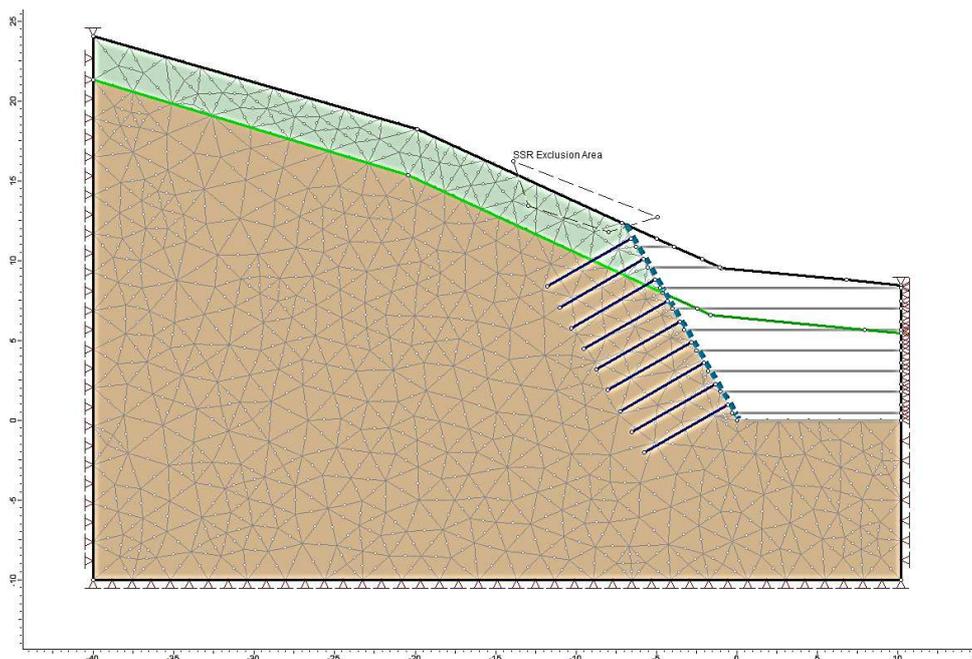
γ_ϕ (fattore da applicare alla tangente dell'angolo di attrito)	1,25
γ_c (fattore da applicare alla coesione drenata)	1,25

- Coefficiente parziale R2 sulle resistenze pari a 1.1 (per le verifiche di stabilità occorre in pratica verificare che il fattore di sicurezza minimo ottenuto dai calcoli sia non inferiore a 1.1)

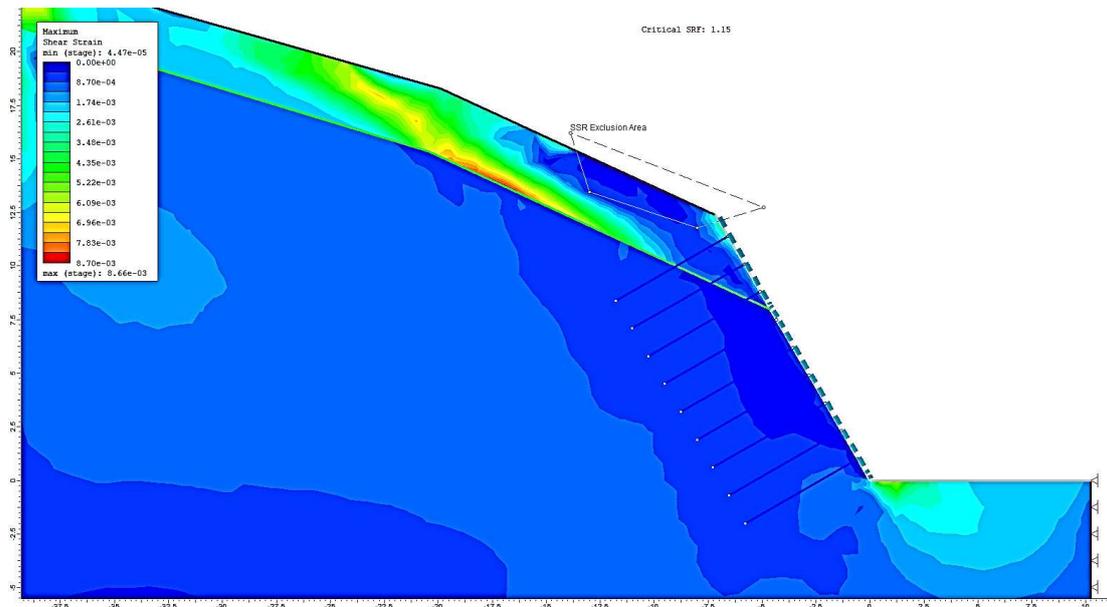
Adottando il programma FEM RS2, le verifiche sono state condotte applicando progressivamente fattori di sicurezza crescenti ai parametri di resistenza del terreno (coesione e angolo d'attrito); in ogni step di calcolo viene applicato il medesimo fattore di sicurezza sia alla coesione sia all'angolo d'attrito. Il procedimento iterativo viene eseguito in modo automatico dal programma di calcolo. Attraverso tale procedura è possibile rilevare il massimo valore del coefficiente che garantisce la stabilità del sistema. Il coefficiente così trovato dovrà essere confrontato con il minimo richiesto dalla normativa, pari a 1.1.

8.1 Scavo armato

Di seguito il modello input per la verifica di stabilità globale per il caso di scavo armato con pendenza 60° ed altezza massima 12m. Vengono considerate essenzialmente le superfici di scorrimento che coinvolgono l'insieme scavo armato-substrato senza considerare superfici di scorrimento superficiale poste interamente a monte dello scavo.



Scavo armato $\alpha=60^\circ$ $H=12m$ - Verifica di stabilità Modello FEM – Modello Input



Scavo armato $\alpha=60^\circ$ H=12m - Verifica di stabilità Modello FEM – Output (FS=1.15)

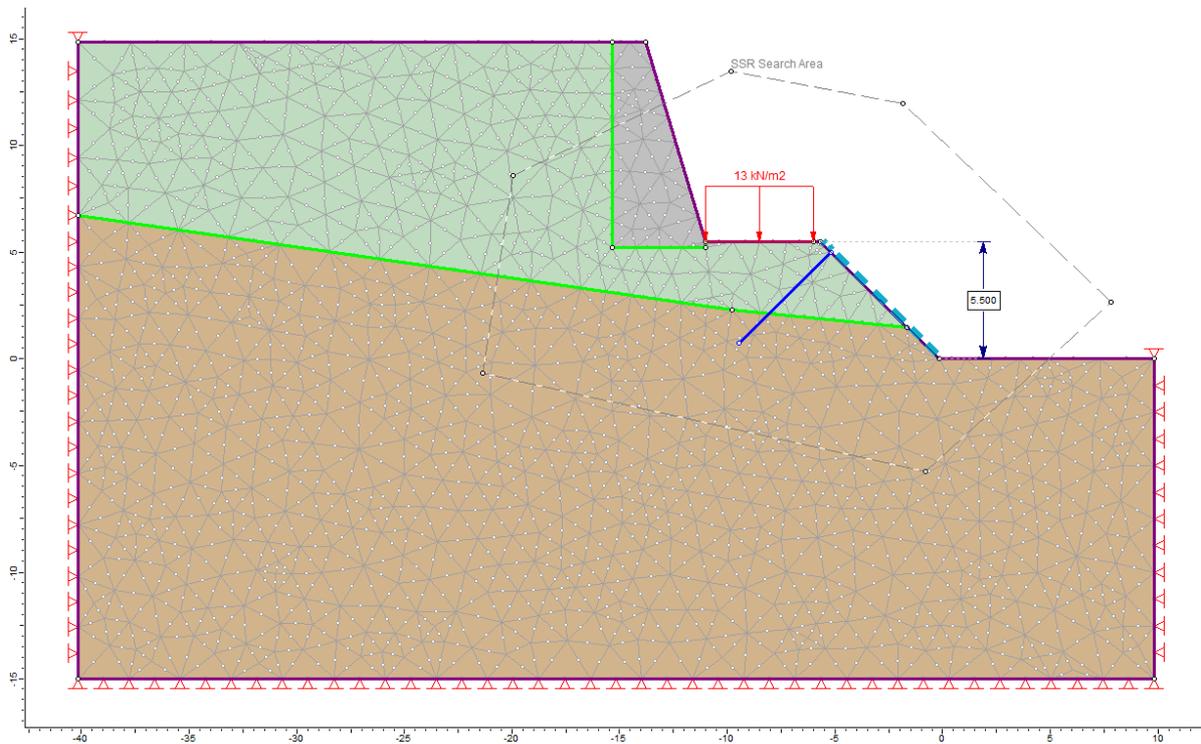
I minimi fattori di sicurezza risultano rispettati.

8.2 Scavo non armato

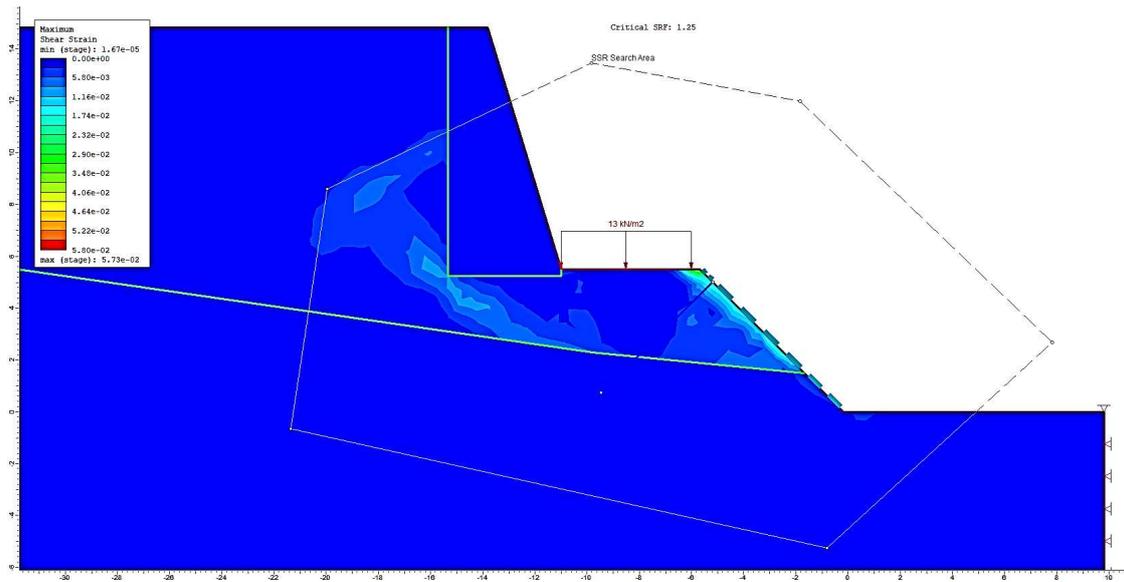
Lo Scavo non armato ha un angolo di pendenza della scarpata di 45° ; a causa della presenza superficialmente di un terreno caratterizzato dalla coltre detritica descritta nel precedente capitolo di Caratterizzazione Geotecnica, occorre prevedere uno strato di spritz-beton di 15 cm a protezione della stabilità della scarpata, sempre armato con doppia rete elettrosaldata. Per un'altezza maggiore di 3 m, per soddisfare le verifiche di stabilità globale della scarpata si prevedono in sommità chiodature di lunghezza 6 m ed interasse longitudinale 2 m, con caratteristiche strutturali analoghe a quelle dei chiodi della precedente sezione.

Di seguito si riportano i modelli input per la verifica di stabilità globale delle due sezioni considerate di altezza 5.5m (con chiodature in testa) e 3 m (senza chiodature solo con spritz-beton).

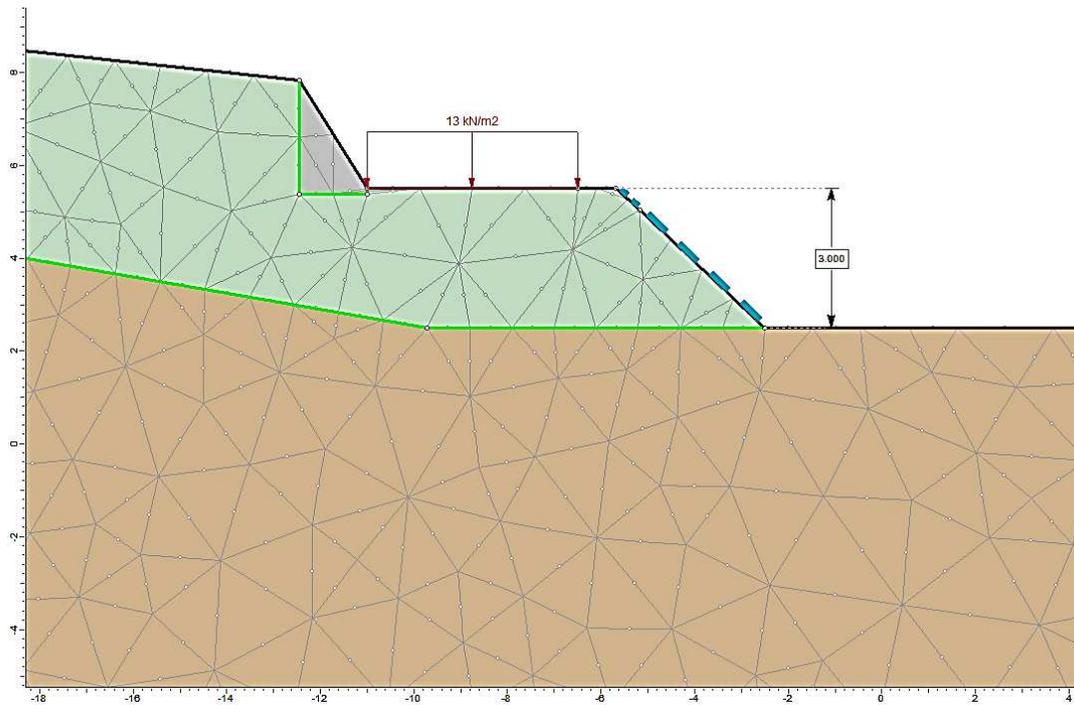
Per la prima sezione di calcolo, a monte ad una distanza di circa 6 m è presente una paratia con altezza di scavo fuori terra di circa 10 m: la verifica di stabilità considera le superfici di scorrimento che interessano la stabilità della scarpata provvisoria localmente senza considerare la presenza della paratia e del terreno presente a monte. Pertanto, la verifica di stabilità globale della paratia di monte non è oggetto della presente relazione.



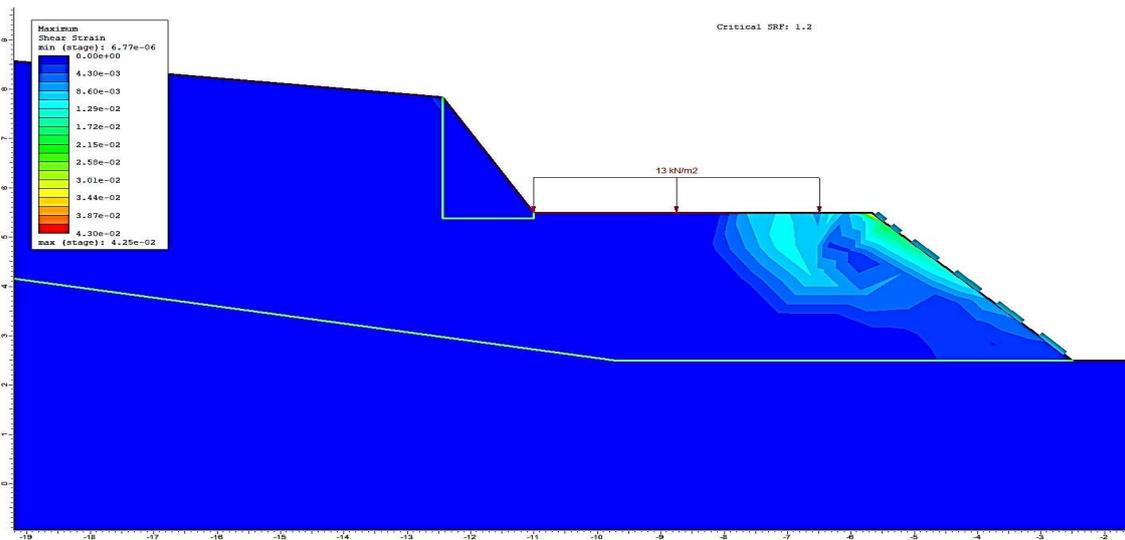
Scavo non armato $\alpha=45^\circ$ H=5.5m - Verifica di stabilità Modello FEM – Modello Input



Scavo non armato $\alpha=45^\circ$ H=5.5m - Verifica di stabilità Modello FEM – Output (FS=1.25)



Scavo non armato $\alpha=45^\circ$ H=3m - Verifica di stabilità Modello FEM – Modello Input



Scavo non armato $\alpha=45^\circ$ H=3m - Verifica di stabilità Modello FEM – Output (FS=1.2)

I minimi fattori di sicurezza risultano rispettati.