

S.S.131 "Carlo Felice"
 Completamento itinerario Sassari – Olbia.
 Potenziamento e messa in sicurezza S.S.131
 dal km 192+500 al km 209+500.
 2° Lotto dal km 202+000 al km 209+500

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA357

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

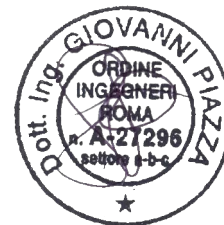
Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)




VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Edoardo Quattrone

**OPERE D'ARTE MAGGIORI
 GALLERIE
 GALLERIA NATURALE CHIGHIZZU_GN02
 Relazione di calcolo**




CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	CA357_P00GN02OSTRE02_A			
DPCA0357	D 20	CODICE ELAB.	P00GN02OSTRE02	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	GIU. 2021	L.MARCANIO	G.PIAZZA	G.PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

INDICE


1	PREMESSA	5
1.1	Vita Nominale di progetto, Classe d'uso e Periodo di Riferimento dell'opera	6
1.1.1	Vita Nominale V_n	6
1.1.2	Classi d'Uso	6
1.1.3	Periodo di Riferimento per l'azione sismica	7
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	8
2.1	Coperture.....	9
3	RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI	12
3.1	Normative, raccomandazioni e linee guida	12
3.2	Bibliografia	12
3.2.1	Generali.....	12
3.2.2	Stabilità del cavo della galleria	13
3.2.3	Calcolo dei rivestimenti	14
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E PARAMETRI DI PROGETTO.....	15
4.1	Interventi di preconsolidamento e consolidamento	15
4.1.1	Elementi strutturali in vtr	15
4.1.2	Infilaggi	15
4.1.3	Miscela cementizia di inghisaggio (a bassa pressione).....	16
4.1.4	Sacchi otturatori.....	16
4.1.5	Miscela cementizia di guaina	16
4.1.6	Miscela cementizia espansiva per iniezioni di consolidamento	16
4.2	Interventi di drenaggio in avanzamento	16
4.2.1	Drenaggi in avanzamento	16
4.3	Rivestimenti di prima fase	17
4.3.1	Calcestruzzo proiettato (spritz beton) fibrorinforzato	17
4.3.2	Fibre per calcestruzzo proiettato.....	17
4.3.3	Acciaio per carpenteria metallica.....	17
4.4	Rivestimenti definitivo	18
4.4.1	Magrone.....	18
4.4.2	Calcestruzzo.....	18
4.4.3	Acciaio per calcestruzzo armato	23

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	


4.5	Impermeabilizzazioni	24
4.5.1	<i>Canaletta in pvc</i>	24
4.5.2	<i>Impermeabilizzazione - telo in pvc</i>	24
4.5.3	<i>Geotessuto</i>	25
5	FASE CONOSCITIVA: MODELLO GEOLOGICO, GEOTECNICO E IDROGEOLOGICO	26
6	FASE CONOSCITIVA: CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA	26
6.1	Modellazione geomeccanica degli ammassi rocciosi	26
6.1.1	<i>Modello di comportamento ed involucri di rottura</i>	26
6.1.2	<i>Determinazione valori geomeccanici caratteristici relativi alla roccia intatta ed indice GSI</i> .	27
6.1.3	<i>Assegnazione valori caratteristici per tratta</i>	31
6.1.4	<i>Parametri di resistenza e deformabilità ammasso</i>	31
6.1.5	<i>Parametri di resistenza equivalenti Mohr-Coulomb</i>	32
6.1.6	<i>Parametri di progetto utilizzati per le verifiche agli stati ultimi GEO</i>	34
6.1.7	<i>Parametri di progetto utilizzati per le verifiche agli stati ultimi STR</i>	35
6.2	Comportamento spingente: individuazione del fattore di squeeze.....	36
7	FASE DI DIAGNOSI	40
7.1	Fronte di scavo.....	40
7.1.1	<i>Categoria A: galleria a fronte stabile</i>	40
7.1.2	<i>Categoria B: galleria a fronte stabile a breve termine</i>	40
7.1.3	<i>Categoria C: galleria a fronte instabile</i>	41
7.2	Metodi di analisi delle categorie di comportamento	41
7.2.1	<i>Metodo semi-empirico di Panet</i>	41
7.2.2	<i>Metodo semi-empirico di Tamèz</i>	42
7.2.3	<i>Metodo delle linee caratteristiche</i>	44
7.3	Analisi della stabilità dello scavo	47
7.3.1	<i>Stabilità del fronte di scavo - Metodo di Panet</i>	47
7.3.2	<i>Stabilità del fronte di scavo - Metodo di Tamèz</i>	49
7.3.3	<i>Stabilità del fronte e della cavità - Metodo delle linee caratteristiche</i>	59
7.3.4	<i>Definizione della categoria di comportamento</i>	61
7.4	Dimensionamento degli interventi di preconsolidamento	62
7.4.1	<i>Chiodature in VTR (fronte)</i>	62
7.4.2	<i>"Ombrello" di infilaggi metallici (calotta)</i>	63

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

7.4.3	Chiodature in VTR radiali.....	65
7.4.4	Verifica di stabilità del fronte con preconsolidamenti con metodo di Tamèz.....	65
7.4.5	Verifica di stabilità del fronte con preconsolidamenti con metodo delle linee caratteristiche	68
8	FASE DI TERAPIA.....	69
8.1	Sezione di avanzamento B0 – Sagoma 1	69
8.2	Sezione di avanzamento B2 – Sagoma 1	70
8.3	Sezione di avanzamento C1 – Sagoma 1	71
8.4	Sezione di avanzamento Aa – Sagoma 1 (canna sx)	72
8.5	Sezione di avanzamento Aa – Sagoma 3 (canna sx)	73
8.6	Sezione di avanzamento Bb – Sagoma 1 (canna sx)	74
8.7	Sezione di avanzamento Bb – Sagoma 3 (canna sx)	75
8.8	Sezione di avanzamento Bypass	76
9	ANALISI TENSIONALI E DEFORMATIVA DELLE GALLERIE	78
9.1	Metodologia di calcolo	78
9.2	Taratura del modello	79
9.3	Sezioni di calcolo.....	80
9.4	Fasi di calcolo	80
10	VERIFICHE STRUTTURALI RIVESTIMENTI SEZIONI TIPO.....	85
10.1	Combinazioni di carico	85
10.2	Azioni sismiche	86
10.3	Sezioni di verifica.....	89
10.4	Verifiche sezioni tipo	90
10.4.1	Sezioni B0 e B2	90
10.4.2	Sezione tipo C1 (Sezione di calcolo 4+131 valori caratteristici minimi dx).....	100
10.4.3	Sezione tipo Aa (Sezione di calcolo 4+240 valori caratteristici minimi sx).....	121
10.4.4	Sezione tipo Bb (Sezione di calcolo 4+131 valori caratteristici minimi sx).....	142
11	INTERAZIONI CON GLI EDIFICI ESISTENTI.....	163
11.1	Analisi dei cedimenti indotti in superficie dallo scavo della galleria naturale.....	163
11.1.1	Premessa	163
11.1.2	Movimenti del terreno a breve e a lungo termine	165
11.1.3	Profilo iniziale dei cedimenti in superficie	166

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

11.1.4	<i>Entità dei cedimenti iniziali: le perdite di volume.....</i>	172
11.1.5	<i>Spostamenti a deformazioni orizzontali in superficie</i>	173
11.1.6	<i>Metodologia di calcolo degli spostamenti a delle deformazioni indotti dallo scavo di una galleria</i>	175
11.1.7	<i>Analisi dei cedimenti indotti dagli scavi - Applicazione al caso in oggetto</i>	175
11.2	Valutazione del danno causato ai fabbricati	180
11.2.1	<i>Premessa</i>	180
11.2.2	<i>Natura a conseguenze del danno.....</i>	181
11.2.3	<i>Definizioni per gli spostamenti e le deformazioni delle fondazioni e del terreno</i>	182
11.2.4	<i>Classificazione del danno</i>	183
11.3	Deformazione critica e deformazione limite di trazione	184
11.4	Deformazioni nella trave rettangolare	186
11.4.1	<i>Modalità di deformazione per le diverse tipologie strutturali</i>	188
11.4.2	<i>Procedimento di valutazione del danno.....</i>	189
11.4.3	<i>Applicazione al caso in oggetto.....</i>	193
12	VIBRAZIONI INDOTTE DALLE OPERAZIONI DI SCAVO.....	196
12.1	Legislazione di riferimento	196
12.2	Limiti ammissibili di sismicità	198
13	CONCLUSIONI	201
14	ALLEGATI.....	202
14.1	Metodo semi-empirico di Tamèz	202
14.2	Stabilità della cavità - Metodo delle linee caratteristiche	203
14.3	Output software sezione di calcolo 4+240_valor medi	204
14.4	Output software sezione di calcolo 4+240_valor minimi	205
14.5	Output software sezione di calcolo 4+131_valor minimi	206

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

1 PREMESSA

Nella seguente relazione sono presentati le verifiche strutturali delle Sezioni tipo di avanzamento della galleria naturale "Chighizzu" inserita nelle opere dell'intervento CA357 progetto S.S. 131 "Carlo Felice" - Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 - 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500. L'intervento prevede l'adeguamento della S.S.131 a Tipo B.

La galleria esistente è composta da due canne separate sx, in direzione Cagliari e dx con direzione Sassari ma presenta sagome interne non compatibili con l'adeguamento a tipo B, oltre a non avere uscite di emergenza. Il progetto prevede pertanto, la costruzione di una nuova canna dx, a monte rispetto alla canna dx attuale, l'alesaggio della attuale canna dx che diventerà la nuova canna sx e l'abbandono della canna sx attuale.

Le coperture massime, riferite in chiave di calotta sono di 65 m.

La larghezza della piattaforma pavimentata della galleria della singola canna è pari a 9.75 m più allargamenti.

La carpenteria della sagoma interna della galleria è una policentrica e presenta un raggio interno in chiave calotta pari a 6.10 m (sagoma tipo 1) e variabile tra 6.10 e 6.90 (sagoma tipo 3), un piedritto verticale e un raggio interno dell'arco rovescio è pari a 12.00 m (sagoma tipo 1) e 14.00 (sagoma tipo 3).

La galleria risulta composta da un tratto in naturale e da due tratti in artificiale agli imbocchi e viene realizzata fra le progressive seguenti:


GALLERIE	Asse	Progressiva sud	Progressiva nord	Lunghezza
GALLERIA CHIGHIZZU_GN02_TRATTO IN ARTIFICIALE	AP_dx	4.060,00	4.095,00	35,00
	AP_sx	4.082,39	4.124,39	42,00
GALLERIA CHIGHIZZU_GN02	AP_dx	4.095,00	4.980,00	885,00
	AP_sx	4.124,39	4.931,80	807,41
GALLERIA CHIGHIZZU_GN02_TRATTO IN ARTIFICIALE	AP_dx	4.980,00	5.035,00	55,00
	AP_sx	4.931,80	4.966,80	35,00

La galleria si sviluppa tra le progressive 4+060.00 e 5+035.00 in dx e tra le progressive 4+082.40 e 4+966.80 in sx per una lunghezza complessiva di 975.00m e di 884.40 m rispettivamente.

La lunghezza complessiva del tratto in naturale risulta essere pari a 885.00m nell'asse dx e di 807.40 per l'asse sx esistente.

La metodologia di lavoro si è sviluppata secondo l'approccio del metodo ADECO-RS, con i seguenti steps progettuali:

- Fase conoscitiva: in tale fase si sono raccolte le informazioni geologiche e geotecniche sull'area in esame e sono stati definiti i parametri geotecnici di progetto;
- Fase di diagnosi: è stato valutato il comportamento allo scavo nei terreni attraversati;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

c) Fase di terapia: si sono individuati gli interventi idonei per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza.

Per la descrizione delle caratteristiche generali, dei tempi, delle fasi esecutive e del sistema di monitoraggio si rimanda alla *Relazione Tecnica Generale*.

Per la caratterizzazione geomeccanica si rimanda alla *Relazione geotecnica*.

Per la descrizione dei parametri significativi per l'individuazione e la gestione delle soglie di attenzione e di allarme si rimanda alle *Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo*.

1.1 Vita Nominale di progetto, Classe d'uso e Periodo di Riferimento dell'opera

1.1.1 Vita Nominale V_N

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. (§ 2.4.1 NTC2018). Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

In accordo con la Committenza Anas è stato assunto:


- Vita Nominale di progetto: $V_N = 50$ anni (costruzioni con livelli di prestazione ordinari).

1.1.2 Classi d'Uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite (§2.4.2 NTC2018):

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.


Relativamente alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, delle opere di cui trattasi, vi si attribuisce:

- Classe d'Uso: **IV**;
- Coefficiente d'Uso: $C_U = 2.0$.

1.1.3 Periodo di Riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento, impiegato nella valutazione delle azioni sismiche risulta pari a:

- Periodo di Riferimento: $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria si sviluppa tra le progressive 4+060.00 e 5+035.00 in dx e tra le progressive 4+082.40 e 4+966.80 in sx per una lunghezza complessiva di 975.00 m e di 884.40 m rispettivamente.

In dx, 35 m sono relativi all'imbocco in artificiale lato Sud (Cagliari), 55 m sono relativi alla all'imbocco in artificiale lato Nord (Sassari), ed i rimanenti 885.00 m sono previsti da scavare in naturale.

In sx, 42 m sono relativi all'imbocco in artificiale lato Sud (Cagliari), 35 m sono relativi alla all'imbocco in artificiale lato Nord (Sassari), ed i rimanenti 807.40 m sono previsti da scavare in naturale.

In dx procedendo nel verso delle progressive crescenti, il tracciato planimetrico si sviluppa lungo una curva circolare destrorsa di raggio 1125 m, dopo la relativa clotoide succede un rettilo di 770.43 m e poi una nuova curva circolare destrorsa di raggio 825 m.

In sx procedendo nel verso delle progressive decrescenti (verso di marcia), il tracciato planimetrico si sviluppa in rettilo per 660.94 m, poi dopo una clotoide si sviluppa in una curva circolare sinistrorsa di raggio 1140 m.

Il profilo altimetrico per entrambe le canne è caratterizzato da una livelletta con pendenza pari al 1.95%, un raccordo altimetrico convesso di raggio 15'000 m e a seguire una livelletta del 0.74% in salita verso le progressive crescenti.

La piattaforma stradale "corrente" è larga complessivamente 9.75 m. Ai margini della piattaforma saranno collocati gli elementi redirettivi in c.a.


Si prevede la realizzazione di tre (3) Bypass pedonali, uno ogni 300 m, alle seguenti progressive riferite alla canna dx:

GN02_BPP01	4+250.60
GN02_BPP02	4+550.60
GN02_BPP03	4+850.60

Le nicchie saranno ubicate ogni 150m.

I rivestimenti definitivi saranno caratterizzati dalle seguenti sagome in dx:

GALLERIE	Asse	Progressiva sud	Progressiva nord	Sagoma tipo	Lunghezza totale
GALLERIA CHIGHIZZU_GN01_TRATTO IN ARTIFICIALE	AP_dx	4.060,00	4.095,00	1	35,00
GALLERIA CHIGHIZZU_GN01	AP_dx	4.095,00	4.980,00	1	885,00
GALLERIA CHIGHIZZU_GN01_TRATTO IN ARTIFICIALE	AP_dx	4.980,00	5.035,00	1	55,00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Per garantire le richieste distanze di visibilità al flusso di traffico Nord-Sud (canna sx), dall'imbocco lato sud alla progressiva 4+260 circa, è risultato necessario prevedere un allargamento della piattaforma stradale in sx pari a circa 1.25 m (Sagoma Tipo 3).

Conseguentemente i rivestimenti definitivi saranno caratterizzati dalle seguenti sagome in sx:

GALLERIE	Asse	Progressiva sud	Progressiva nord	Sagoma tipo	Lunghezza totale
GALLERIA CHIGHIZZU_GN01_TRATTO IN ARTIFICIALE	AP_sx	4.082,40	4.124,40	3	42,00
GALLERIA CHIGHIZZU_GN01	AP_sx	4.124,40	4.259,40	3	135,00
GALLERIA CHIGHIZZU_GN01	AP_sx	4.259,40	4.931,80	1	672,40
GALLERIA CHIGHIZZU_GN01_TRATTO IN ARTIFICIALE	AP_sx	4.931,80	4.966,80	1	35,00

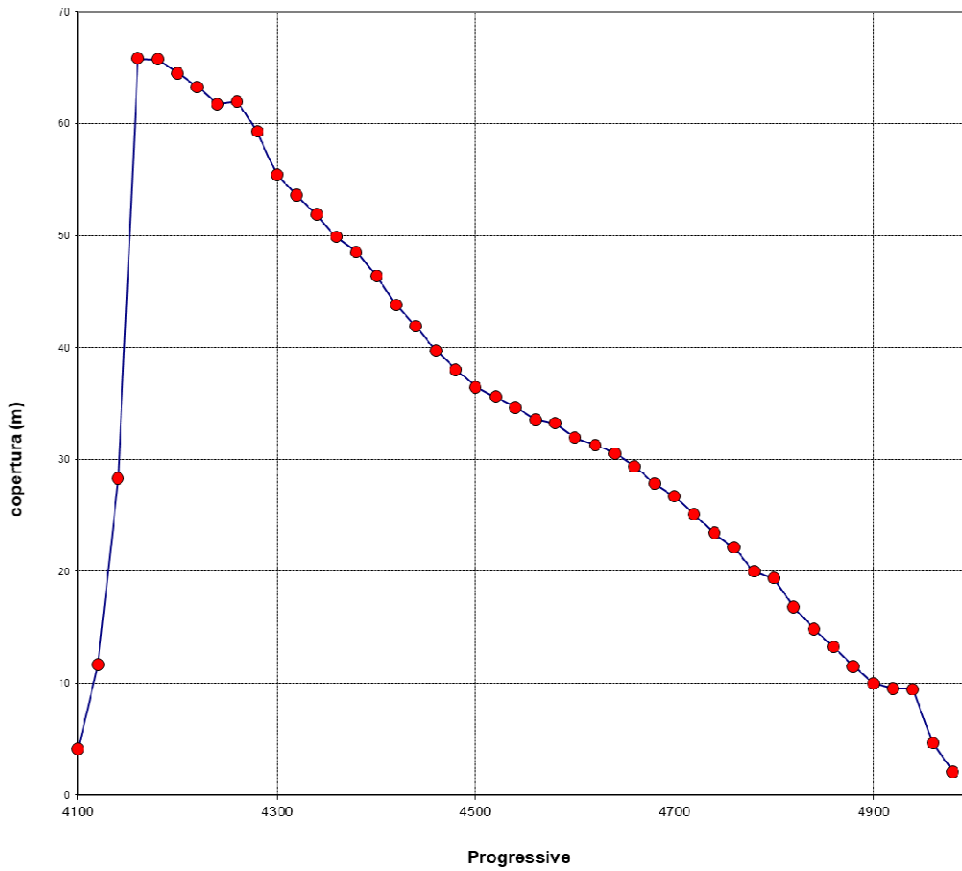
2.1 Coperture

Si riportano i diagrammi dell'andamento delle coperture sopra la calotta per le due canne in progetto:

CA357

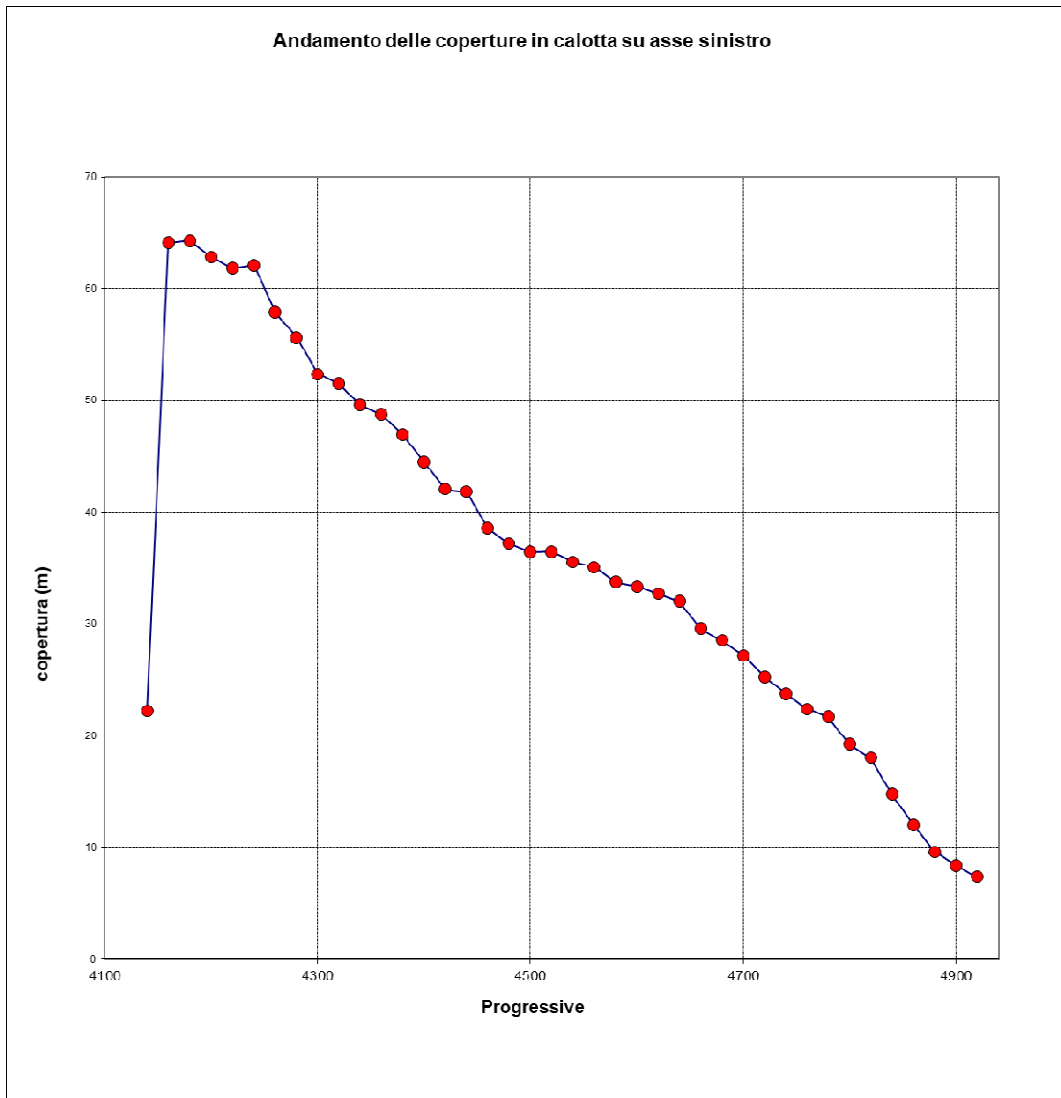
Relazione di calcolo


Andamento delle coperture in calotta su asse destro



CA357

Relazione di calcolo



SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

3 RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI


3.1 Normative, raccomandazioni e linee guida

- ✓ DM 17/01/2018. Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- ✓ Circolare 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17/01/2018
- ✓ Decreto Ministeriale LL.PP. 09/01/1996 – Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- ✓ Decreto Ministeriale LL.PP. 16/01/1996 – Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- ✓ Circolare 15/10/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996.
- ✓ Circolare 04/07/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 16/01/1996.
- ✓ Decreto Ministeriale LL.PP. 11/03/1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- ✓ Circolare LL.PP. 24/09/1988 n.30483 – L.2.2.1974, n.64 - art.1 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988.
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche e integrazioni.
- ✓ A.F.T.E.S. Groupe de Travail n. 7 – Tunnel support and lining. – "Recommendations for use of convergence – confinement method".
- ✓ Raccomandazioni AICAP 1993 "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce".
- ✓ ANAS, IT.PRL.05.18 – Rev.1.0 Capitolato Speciale di Appalto, Opere d'arte maggiori – Gallerie.

3.2 Bibliografia

3.2.1 Generali


- ✓ Hoek E. – *Strength of jointed rock masses, 23° Rankine Lecture* –Géotechnique 33, 187-223 (1983).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ Hoek E. – *Strength of rock and rock masses* – ISRM News Journal, 2(2), 4-16 (1994).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *Underground excavations in rock* – London, Inst. Min. Metall. (1980).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *Empirical strength criterion for rock masses* – J. Geotech. Engng. Div., ASCE, 106 (GT9), 1013-1035 (1980).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *The Hoek-Brown failure criterion – a 1988 update* – In Rock Engineering for Underground excavations, 15° Canadian Rock Mech. Symp., 31-38. Toronto, Dept. Civil Engineering (1988).
- ✓ Hoek E., Kaiser, P.K. and Bawden W.F. – *Support of underground excavations in hard rock* – Rotterdam, Balkema - (1995).
- ✓ Hoek E. and Brown, E.T. – *Practical estimates of rock mass strength* – Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts, 34(8), 1165-1186 (1997).
- ✓ Marinou P. and Hoek E. – GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation – Proceedings of the International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne, Australia (2000).
- ✓ Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. (2002): "Hoek-Brown failure criterion" – 2002 Edition.
Hoek E. (2004): "Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock". Rocscience, April 2004.
- ✓ Ribacchi R. - *Recenti orientamenti nella progettazione statica delle gallerie* - AGI - XVIII Convegno Nazionale di Geotecnica. Rimini (1993).

3.2.2 Stabilità del cavo della galleria


- ✓ Chern J.C., Shiao F.Y., and Yu C.W. – *An empirical safety criterion for tunnel construction* – Proc. Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering, Taipei, Taiwan, 222-227 (1998).
- ✓ Lombardi G. – *Funzione dei sostegni e rivestimenti quale consolidamento nelle opere sotterranee* – Seminario su "Consolidamento di terreni e rocce in posto nell'ingegneria civile", Stresa, 191-229 (1978).
- ✓ Lombardi G. e Amberg W. (1974). *Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine. Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974.*
Lombardi G. e Amberg W. – *L'influence de la méthode de construction sur l'équilibre final d'un tunnel* – 4th Int. Cong. On Rock Mech., Vol. 1, Montreaux (Suisse), 475-484 (1979).
- ✓ Lombardi G. – *"Qualche aspetto particolare della statica delle cavità sotterranee."* – Riv. It. Geotecnica (1975).
- ✓ Panet M. e Guellec P. – *Contribution a l'étude du soutènement d'un tunnel à l'arrière du front de taille* – 3rd Int. Congress on Rock Mech., Vol.2, Denver, ISRM, 1163-1168 (1974).
- ✓ Panet M., Guenot A. (1982). *Analysis of convergence behind the face of a tunnel* – Tunnelling '82, Brighton, 197-204.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ Lunardi P. (2000). *The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils*. Tunnels & Tunnelling International, May 2000.

3.2.3 Calcolo dei rivestimenti

- ✓ A.F.T.E.S. – *Considerations on the usual methods of tunnel lining design* (1993).
- ✓ Lembo Fazio A. – *Interazione tra il terreno ed il sostegno di una galleria – L'ingegnere e l'architetto* 1 – 8 (1995).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E PARAMETRI DI PROGETTO

4.1 Interventi di preconsolidamento e consolidamento

4.1.1 Elementi strutturali in vtr

Tubi in vtr $\varnothing_e=60\text{mm}$ - $\varnothing_i=40\text{mm}$ - $sp=10\text{mm}$:

densità :	$\geq 1.7 \text{ t/m}^3$ (UNI 7092)
resistenza a trazione	$\geq 500 \text{ MPa}$ (UNI 5819)
allungamento a rottura	2%
resistenza a flessione	$\geq 350 \text{ MPa}$ (UNI 4219)
resistenza al taglio	$\geq 100 \text{ MPa}$ (ASTM d732)
modulo elastico :	$\geq 15000 \text{ MPa}$
contenuto in vetro in peso	$\geq 55\%$
diametro perforazione	100 mm

4.1.1.1 Parametri di progetto

Resistenza di calcolo	$\eta f_{fd} = \eta x f_{fk} / \gamma_m$
con:	$\gamma_m = 1.5$ per SLU
	$\eta = \eta_a \eta_l$
	$\eta_a = 1.0$ (opera provvisoria)
	$\eta_l = 1.0$ per SLU


Stati limite:

- resistenza caratteristica a trazione di calcolo SLU: $f_{fd} = 500.00 \text{ MPa}$
- resistenza caratteristica a taglio di calcolo SLU: $f_{td} = 100.00 \text{ MPa}$

4.1.2 Infilaggi

Tubi in acciaio S355 anche valvolato $\varnothing_e=114,3\text{mm}$ - $sp=10\text{mm}$, area =3227 mm²

norma di riferimento	UNI EN 10210 e UNI EN 10219
tensione a rottura a trazione	$\geq 510 \text{ MPa}$
tensione di snervamento	$\geq 355 \text{ MPa}$
diametro perforazione	140 mm

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

4.1.2.1 Parametri di progetto

Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
con:	$\gamma_s = 1.05$ per SLU
Stati limite:	
- resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{yd} = 338.10$ MPa

4.1.3 Miscela cementizia di inghisaggio (a bassa pressione)

Miscela acqua-cemento

rapporto a/c	0.4
resistenza a compressione a 7 gg	≥ 15 MPa
additivo accelerante e anti-ritiro	0.8% in peso del cemento

4.1.4 Sacchi otturatori

sacchi in tessuto di polipropilene	
resistenza a rottura per espansione libera	≥ 2.5 MPa

4.1.5 Miscela cementizia di guaina

Miscela acqua-cemento-bentonite

rapporto a/c	1.5
cemento tipo	CEM II 32.5R
bentonite	6%

4.1.6 Miscela cementizia espansiva per iniezioni di consolidamento


Miscela cementizia microfine espansiva

superficie specifica blaine	12000 cm ² /g
dimensione granuli	1-25 μ m
espansione in ambiente libero	$\geq 70\%$
resistenza a compressione in ambiente confinato	≥ 8 MPa a 48 h
pressione di rifiuto	25 bar
volume di iniezione controllato	120 l/valvola

4.2 Interventi di drenaggio in avanzamento

4.2.1 Drenaggi in avanzamento

Tubo in pvc microfessurato

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

diametro interno	50mm
spessore	≥ 4.0mm
rivestimento esterno	tessuto non tessuto
diametro di perforazione	90 mm

4.3 Rivestimenti di prima fase

4.3.1 Calcestruzzo proiettato (spritz beton) fibrorinforzato

classe di resistenza a compressione $r_{ck,cub}$	35 MPa
resistenza caratteristica a 48h :	$R_{ck} > 13$ MPa
tipo	temporaneo strutturale (ts)
sviluppo di resistenza	rapido
energia assorbita	≥ 500 joule (da prove di punzonamento eseguite su piastre)

4.3.1.1 Parametri di progetto

Resistenza di calcolo a compressione calcestruzzo	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$
con:	$\gamma_c = 1,5$ per SLU
con:	$\alpha_{cc} = 0,85$ per SLU

Stati limite:


resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{cd} = 15.87$ MPa
resistenza a trazione di calcolo allo SLU:	$f_{ctd} = 0$

4.3.2 Fibre per calcestruzzo proiettato

tipo	acciaio
norma di riferimento	UNI EN 14889 e UNI EN 14845
resistenza a trazione	≥ 750 MPa
dosaggio fibre	≥ 30 kg/m ³

4.3.3 Acciaio per carpenteria metallica

centine/profilati/calastrelli	S275JR - S275J0 UNI EN 10025 - 1 e 2
piastre	S275JR - S275j0 UNI EN 10025 - 1 e 2
catene per centine	B 450 C
bulloni su piastre di unione centine	viti classe 8.8 UNI EN 14399-4 e UNI EN ISO 898-1 dadi classe 8 UNI EN 14399-4 e UNI EN ISO 898-2 rondelle UNI EN 14399-6.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

4.3.3.1 Parametri di progetto

Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
con:	$\gamma_s = 1.05$ per SLU
Stati limite:	
resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{yd} = 261.90$ MPa


4.4 Rivestimenti definitivo

4.4.1 Magrone

classe di resistenza	C12/15 MPa
contenuto minimo di cemento	150 kg/m ³

4.4.2 Calcestruzzo

norma di riferimento	EN 206-1 e UNI EN 11104
classe di resistenza	C32/40 MPa
classe di esposizione	XC2 + XA1
massimo rapporto a/c	0.50
classe di consistenza :	S3 (arco rovescio) - S4 (murette e calotta)
dimensione nominale massima degli aggregati	: $D_{upper} = 32$ mm $D_{lower} = 20$ mm
tipo cemento	CEM IV secondo uni en 197-1
contenuto min. cemento	340 kg/m ³
copriferro nominale	40 mm

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

4.4.2.1 Parametri di progetto

Caratteristiche Calcestruzzo	Var	C32/40
Resistenza a compressione caratteristica cubica	R_{ck}	40
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	32
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	40.00
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	3.02
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk5\%} = 0.7 f_{ctm}$	2.12
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk95\%} = 1.3 f_{ctm}$	3.93
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3.63
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	33346

STATI LIMITE ULTIMI	Var	
coefficiente γ_c	γ_c	1.50
coefficiente α_{cc}	α_{cc}	0.85
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	18.13
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	1.41

STATI LIMITE DI ESERCIZIO	Var	
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico caratteristica	$\sigma_{c, max} = 0.60 f_{ck}$	19.20
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico quasi permanente	$\sigma_{c, max} = 0.45 f_{ck}$	14.40
σ_t - stato limite di formazione delle fessure	$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2.52


ANCORAGGIO DELLE BARRE	Var	
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 1.0 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	3.18
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - non buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 0.7 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	2.22

4.4.2.2 Caratteristiche del calcestruzzo al fine della durabilità

Al fine di valutare le caratteristiche vincolanti delle miscele di calcestruzzo nei confronti della durabilità viene fatto riferimento alle norme EN206 e UNI 11104.

Relativamente alla scelta delle classi di esposizione, in accordo alla "Classificazione del livello di rischio di attacco del gelo per aree climatiche del territorio italiano" contenuta nell'appendice A alla norma, che attribuisce alla [Sardegna](#) un livello di rischio **Nulla**, è stata esclusa l'applicazione della classe XF (Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza disgelanti), e conseguentemente della classe XD (corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare).

Analogamente è stata esclusa l'applicazione della classe XS (Corrosione indotta dai cloruri contenuti nell'acqua di mare).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Relativamente all'applicazione della classe XA (Attacco chimico da parte del terreno naturale e delle acque contenute nel terreno), le analisi chimiche eseguite su campioni di terreno e su acqua di falda ai sensi della norma UNI EN 206, hanno evidenziato acidità nei terreni e concentrazioni di CO2 nell'acqua, tali da rientrare nei range illustrati nel prospetto 2 della norma.

Di seguito il prospetto di sintesi riportato nel report "Documentazione indagini ambientali", prodotto da TECNOIN (§4.4 – Attacco chimico del calcestruzzo).

Classe di esposizione per i terreni

Denominazione		Terreno				Classi di esposizione		
		\$02D_PZ (0-50)	\$12D_PZ CA1 (40-62,50 m)	\$18D_PZ (0-30)	\$19D_PZ (0-60)	XA1	XA2	XA3
PARAMETRO	U. M.							
Solfato (ione solfato)	mg/kg	112,84	112,06	125,39	28,50	2000-3000	3000-5000	12000-24000
Acidità	mL/kg	4	<5	340	<2	300	non incontrato	

Denominazione		Terreno			Classi di esposizione			
		\$22D (0-50)	\$28D_DH (2-3)	\$31HD CA3 (128-126,50 m)	Pz10D (0-2)	XA1	XA2	XA3
PARAMETRO	U. M.							
Solfato (ione solfato)	mg/kg	<0,5	28,40	120,72	<0,5	2000-3000	3000-5000	12000-24000
Acidità	mL/kg	<2	<2	<5	<2	300	non incontrato	

Classe di esposizione per le acque

Denominazione		Acqua			Classi di esposizione		
		\$02D_PZ	\$13D_PZ	\$21D_PZ	XA1	XA2	XA3
PARAMETRO	U. M.						
Solfati (ione solfato)	mg/L	59,26	60,96	52,99	200-600	600-2000	3000-6000
pH	unità pH	7,51	7,54	7,65	5,5-6,5	4,5-5,5	4,0-4,5
Anidride carbonica (CO2)	mg/L	31,96	31,96	21,97	15-40	50-100	>100
Ammoniaca (ione ammonio)	mg/L	<0,4	<0,4	<0,4	15-30	30-60	60-100
Magnesio	mg/L	12,19	11,34	11,21	300-1000	1000-3000	>3000

Pertanto, per i rivestimenti della galleria è prevista una classe di esposizione XA1.


Pertanto, si ha:

Calcestruzzo rivestimento definitivo:

Classe di esposizione	XC2 – XA1
Classe di resistenza caratteristica a compressione:	C32/40
Dimensione max aggregati:	32 - 20 mm
Classe minima di consistenza:	S3 (arco rovescio) - S4 (murette e calotta)
Copriferro minimo:	40 mm

4.4.2.3 Verifiche a fessurazione

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso in esame si considerano:

- Condizioni **aggressive**: per le verifiche a fessurazione dei rivestimenti definitivi (classe di esposizione XA1).

La Tab. 4.1.IV stabilisce i criteri per la scelta degli stati limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali e del tipo di armatura:

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Pertanto, nel caso in esame si ha:

- Verifiche a fessurazione – condizioni ambientali **Aggressive** – Armatura poco sensibile:
 - o Combinazione di azioni quasi permanente: $w_k \leq w_1 = 0.2$ mm

In accordo al par. §4.1.2.2.4.5, le verifiche allo stato limite di apertura delle fessure sono state condotte senza calcolo diretto, verificando che la tensione di trazione dell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, sia contenuta entro i valori limite specificati nelle seguenti tabelle:

Tabella C4.1.II Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Diametro massimo ϕ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III - Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Spaziatura massima s delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

In rapporto a quanto specificato nelle precedenti tabelle è possibile individuare le tensioni limite dell'acciaio per ciascun diametro delle barre:

Tensioni limite in funzione diametro barre			
Diametro barre ϕ [mm]	Tensione max acciaio σ_s [Mpa]		
	$w_3=0.4$ mm	$w_2=0.3$ mm	$w_1=0.2$ mm
40	160	114	93
36	180	137	111
32	200	160	129
30	207	171	138
28	213	183	147
26	220	194	156
24	227	204	164
22	233	213	173
20	240	222	182
18	260	231	191
16	280	240	200
14	300	260	220
12	320	280	240
10	360	320	260
8	360	360	280
6	360	360	320

4.4.2.4 Copriferro

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale è la somma di due contributi, il copriferro minimo e la tolleranza di posizionamento.

I valori minimi dello spessore dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro), ai fini della protezione delle armature dalla corrosione, sono riportati nella Tab. C4.1.IV delle circolari applicative della NTC2018, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tab. 4.1.IV delle NTC:


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Tabella C4.1.IV - Copriferrini minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C _{min}	C ₀	ambiente	C ₀ ≥ C _{min}	C ₀ > C _{min}	C ₀ ≥ C _{min}	C ₀ > C _{min}	C ₀ ≥ C _{min}	C ₀ > C _{min}	C ₀ ≥ C _{min}	C ₀ > C _{min}
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

I valori della tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con Vita Nominale di 50 anni (tipo 2 della Tab. 2.4.1 delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (tipo 3 della citata Tab. 2.4.1), i valori della Tab. C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm.


Per la definizione del calcestruzzo nominale, ai valori minimi di copriferro vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità.

Per il valore del copriferro minimo nel caso in esame si pone, un copriferro minimo pari a 30 mm. La tolleranza di posizionamento è pari a 10 mm. Si ottiene pertanto un copriferro nominale minimo pari a 40 mm.

4.4.3 Acciaio per calcestruzzo armato

Acciaio B450C controllato in stabilimento e saldabile

norma di riferimento	D.M. 17/01/2018 (capitolo 11)
impiego:	barre, reti e tralicci elettrosaldati
resistenza caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq 450 \text{ n/mm}^2$
resistenza caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq 540 \text{ n/mm}^2$
rapporto $(f_y/f_t)_k$	$1.15 \leq (f_y/f_t)_k < 1.35$
rapporto $(f_y/f_{ynom})_k$	≤ 1.25
allungamento $(a_{gt})_k$	$\geq 7.5\%$

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

4.4.3.1 Parametri di progetto:

Caratteristiche Acciaio per Calcestruzzo armato	Var	unità		
Qualità dell'acciaio			B450C	B450A
Tensione caratteristica di snervamento nominale	f_{yk}	Mpa	450	450
Tensione caratteristica a carico ultimo nominale	f_{tk}	Mpa	540	450
Modulo elastico	Es	Mpa	210000	210000
diametro minimo della barra impiegabile	ϕ_{min}	mm	6	5
diametro massimo della barra impiegabile	ϕ_{max}	mm	40	10
STATI LIMITE ULTIMI	Var	unità		
coefficiente γ_s	γ_s		1.15	1.15
Resistenza di calcolo	$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s$	Mpa	391.3	391.3
STATI LIMITE DI ESERCIZIO	Var	unità		
$\sigma_{s,max}$ - combinazione di carico caratteristica	$\sigma_{s,max}=0.8 f_{yk}$	Mpa	360.0	360.0

4.5 Impermeabilizzazioni


4.5.1 Canaletta in pvc

microfessurata superiormente al piede dell'impermeabilizzazione (UNI 4464 e 4465)

diametro esterno	$\geq 110\text{mm}$
spessore	$\geq 4.0\text{mm}$

4.5.2 Impermeabilizzazione - telo in pvc


spessore	$\geq 2.0\text{mm}$	(UNI 8202/6)
peso specifico	$\geq 1.3 \text{ g/cm}^3$	(UNI 7092)
resistenza a trazione	$\geq 17 \text{ n/mm}^2$	(DIN 16938 e)
allungamento a rottura	300%	(DIN 16938 e)
resistenza a compressione	$\geq 300 \text{ n/cm}^2$	
resistenza al calore	70 °c	(DIN 53372)
resistenza al freddo	- 40 °c	
resistenza alla pressione	$\geq 10 \text{ atm}$	(DIN 16938)
durezza a-shore	75	(DIN 53505)
piegatura a freddo	-20 °c	(DIN 16938)
imputrescibilità	illimitata	
termosaldatura doppia sulle giunzioni		

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

4.5.3 Geotessuto

tessuto non tessuto a filo continuo di polipropilene puro ottenuto per agugliatura meccanica coesionato

massa areica	≥ 500 g/m ²	(EN 965)
resistenza a trazione	≥ 30 kN/m	(EN ISO 10319)
allungamento a rottura	≥ 80 %	(EN ISO 10319)
spessore	≥ 4.0 mm	
cbr resistenza al punzonamento	≥ 5000 n	(EN ISO 12236)
permeabilità nel piano	≥ 3.2x10 m/s	(EN ISO 12958 pr)
classe di fuoco	2	(UNI 8457/a1-9174/A1)

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

5 FASE CONOSCITIVA: MODELLO GEOLOGICO, GEOTECNICO E IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, nella successione stratigrafica dell'area interessata dal tracciato si possono riconoscere, dal basso verso l'alto, le seguenti unità litologiche della successione sedimentaria oligo-miocenica del Logudoro - Sassarese:

:

- **Formazione di Mores.** Arenarie e conglomerati da grigi a beige, ad elementi di quarzo, metamorfiti, vulcaniti e calcari mesozoici con locali intercalazioni carbonatiche.
- **Formazione di Borutta.** Marne, marne arenacee, calcareniti e siltiti in alternanza ritmiche.
- **Formazione di Florinas.** Arenarie quarzoso-feldspatiche biancastre, più o meno cementate, con siltiti scure alla base, di ambiente deltaico. Nella parte alta intercalazioni di arenarie e microconglomerati di ambiente marino.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica (vedi elaborato CA357_T00GE00GEORE01A).

Si rimanda alla relazione geotecnica CA357_P00GN02GETRE01_A per la descrizione delle indagini eseguite sulla galleria in esame e sul modello interpretativo geotecnico.

La galleria Chighizzu si sviluppa nella formazione di Borutta, incontrando principalmente marne e solo nelle aree di imbocco i contatti con le calcareniti. Come evidenziato dai parametri meccanici delle due tipologie nella relazione sopra citata, non esistono differenze sostanziali tra le due litologie.

A favore di sicurezza, si è preferito utilizzare per le verifiche sulla galleria i valori meccanici delle Marne (valori minori tra le due).


Dalle indagini geognostiche si è riscontrata la presenza di una falda acquifera con carico idraulico massimo di 32 m sulla calotta della galleria (vedi sondaggio S19D_PZ).

6 FASE CONOSCITIVA: CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

6.1 Modellazione geomeccanica degli ammassi rocciosi

6.1.1 Modello di comportamento ed involuppi di rottura

È stato considerato un legame costitutivo "elasto plastico ideale" nel quale i parametri di resistenza di picco e residui coincidono. Il rapporto k_0 tra le tensioni orizzontali e verticali è stato assunto pari a 1 nelle zone ad

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

alta copertura, uguale a 0.5 per le zone a bassa copertura.

Per la determinazione delle caratteristiche di resistenza al taglio degli ammassi rocciosi si è fatto riferimento al criterio di rottura sviluppato da Hoek-Brown nella formulazione del 2002 (Hoek, Carranza, Torres et al.) nel quale la resistenza al taglio è rappresentata da un involucro di rottura non lineare e fortemente curvilineo in presenza di bassi livelli tensionali.

Il criterio di rottura è definito dalla seguente relazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (mb \frac{\sigma_3}{\sigma_1} + s)^a$$

con:

- σ_1, σ_3 tensioni principali effettive a rottura;
- mb costante di Hoek-Brown relativa all'ammasso roccioso;
- s ed a costanti dipendenti dalle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso;
- σ_{ci} resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

6.1.2 Determinazione valori geomeccanici caratteristici relativi alla roccia intatta ed indice GSI

Si riportano a continuazione i risultati di laboratorio della campagna geognostica sui campioni litoidi delle Marne e i valori stimati di GSI:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500




CA357

Relazione di calcolo

Sondaggio	Campione	Profondità [m]		Peso di volume medio [kN/m ³]	Resist. a compressione uniax. σ_{cl} [MPa]	$E_{150\%}$ [GPa]	$E_{50\%}$ [GPa]	$v_{50\%}$ [-]	GSI	m_i	D
		da	a								
S01D-DH	CL01	25.30	25.80	18.41					-	7	0
S01D-DH	CL02	28.30	28.80	19.14	8.05	1.64	1.05	0.37	52	7	0
S01D-DH	CL03	31.00	31.50	19.68	2.41	1.88	3.51	0.41	55	7	0
S03D-DH	CL01	27.25	27.75	19.18	3.55	4.7	4.34	0.5	49	7	0
S06D	CL01	9.25	9.75	21.95					-	7	0
S07D-DH	CL02	34.50	35.00	18.56					-	7	0
S13D-PZ	CL01	9.40	9.90	18.28	14.85	1.15	1.74	0.35	71	7	0
S13D-PZ	CL02	12.07	12.57	21.86					-	7	0
S13D-PZ	CL03	16.90	17.40	19.57	6.64	1.9	2.55	0.33	58	7	0
S17D	CL02	52.50	53.00	18.90					-	7	0
S17D	CL03	59.00	59.40	20.50	5.09	6.19	3.18	0.45	50	7	0
S17D	CL04	65.30	65.60	19.38					-	7	0
S17D	CL05	73.00	73.40	19.66	7.28	12.49	15.56	0.37	64	7	0
S17D	CL06	77.00	77.40	20.61					-	7	0
S17D	CL07	82.00	82.40	20.85	8.51	11.4	20.84	0.3	59	7	0
S18D	CL03	29.00	29.40	18.34	1.81	0.35	0.47	0.49	56	7	0
S18D	CL04	67.50	68.00	18.56					-	7	0
S19D-PZ	CL01	43.00	43.50	21.08	11.88	4.95	5.65	0.4	55	7	0
S19D-PZ	CL02	58.00	58.50	20.51	11.11	2.74	4.1	0.42	61	7	0
S20D	CL03	21.55	22.05	19.18					-	7	0
S20D	CL04	23.90	24.40	20.43	7.19	2.85	4.51	0.39	66	7	0
S20D	CL05	28.90	29.40	19.00	7.84	2.24	3.28	0.33	59	7	0
S20D	CL06	33.45	33.95	20.59					-	7	0
S20D	CL07	37.95	38.45	20.25	6.95	0.85	1.11	0.42	64	7	0
S20D	CL08	41.95	42.45	19.90	4.28	1.15	0.77	0.49	69	7	0
S21D-PZ	CL01	21.00	21.50	21.56	8.07	2.14	2.53	0.46	70	7	0
S21D-PZ	CL02	24.50	25.00	22.08	7.83	1.65	1.91	0.45	65	7	0
S21D-PZ	CL03	29.95	30.45	22.59	8.47	2.55	2.25	0.31	70	7	0
S22D	CL01	22.40	22.90	19.23					-	7	0
S22D	CL02	27.95	28.45	22.62	8.78	2.54	4.29	0.35	54	7	0
S23D-PZ	CL02	15.00	15.50	20.22	7.46	1.83	1.83	0.49	37	7	0
S25D-DH	CL02	18.00	18.50	18.88	3.87	0.89	0.98	0.44	54	7	0
S25D-DH	CL03	23.00	23.50	18.00					-	7	0
S25D-DH	CL04	29.00	29.50	18.84	4.43	0.4	0.45	0.47	59	7	0
S28D	CL02	18.35	18.85	19.58	7.49	0.83	1.14	0.46	51	7	0
S28D	CL03	23.15	23.65	19.03	6.6	0.94	0.94	0.49	64	7	0
S29D	CL01	5.95	6.45	19.79					-	7	0
S29D	CL03	22.00	22.50	18.76	5.59	0.69	0.72	0.49	58	7	0
S31-HD*	CL01	7.30	7.60	20.33					-	7	0
S31-HD*	CL02	12.50	13.00	19.44	3.13	2.71	1.17	0.46	70	7	0
S31-HD*	CL03	22.50	23.00	18.98	3.59	1.72	1.63	0.49	59	7	0
S31-HD*	CL04	34.00	34.50	18.66					-	7	0
S31-HD*	CL05	44.20	44.60	18.35	2.61	7.91	2.43	0.48	58	7	0
S31-HD*	CL06	51.00	51.40	19.82					-	7	0
S31-HD*	CL07	64.00	64.50	19.37	2.91	3.12	1.81	0.5	58	7	0
S31-HD*	CL08	79.30	79.70	19.06	4.5	4.72	3.57	0.34	64	7	0
S31-HD*	CL09	89.00	89.50	19.80					-	7	0
S31-HD*	CL10	99.50	100.00	19.32					-	7	0
S31-HD*	CL11	108.50	109.00	18.12	2.54	2.5	1.59	0.5	63	7	0
S31-HD*	CL12	121.00	121.40	19.11	5.6	5.17	3.84	0.41	54	7	0
S31-HD*	CL13	128.00	128.40	22.53	15.59	19.64	20.53	0.35	43	7	0

I risultati si riassumono come segue:

	Peso di volume medio [kN/m ³]	Resist. a compressione uniax. σ_{cl} [MPa]	$E_{150\%}$ [GPa]	$E_{50\%}$ [GPa]	$v_{50\%}$ [-]	GSI
Valore massimo	22.6	15.59	19.64	20.84	0.50	71.00
Valore minimo	18.0	1.81	0.35	0.45	0.30	37.00
Media	19.8	6.56	3.59	3.83	0.42	58.76
Mediana	19.4	6.64	2.24	2.25	0.44	59.00
Deviazione standard	1.2	3.36	4.07	5.10	0.06	7.83
Coefficiente di variazione	6.16%	51.26%	113.40%	133.30%	15.16%	13.33%
Numero dati disponibili	50.0	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Quando il campo di variabilità dei dati ottenuti dalle prove è ristretto, quando cioè non si ha una sistematica variazione dei risultati a seconda della posizione dei campioni analizzati nell'area del progetto e con la profondità, e quindi le variazioni possono essere trattate come casuali, potrà essere accettabile adottare un valore cautelativo medio spaziale. Nel nostro caso, dove, invece, il campo di variazione dei valori ottenuti dalle prove di laboratorio è ampio, è necessario adottare un valore caratteristico X_c più pessimistico: con riferimento ad una distribuzione statistica tale probabilità può essere associata al frattile 5%.

I valori percentuali del coefficiente di variazione (COV) risultano, per i più significativi parametri geotecnici, superiori al 10%. Il COV esprime una misura della affidabilità della tendenza centrale di una serie di dati o, in maniera equivalente, della dispersione della componente fluttuante rispetto al valore medio del trend. Minore è il valore del COV, minore la dispersione dei dati. Dalla Letteratura (Vannucchi, Uzielli, 2004) risulta che valori del COV inferiori al 10% possano essere considerati "bassi"; valori compresi tra 10 e 30% "medi"; valori superiori al 30% "alti". Nel nostro caso, a parte il peso di volume e il coefficiente di Poisson i valori risultano tutti alti.

Pertanto, data la variabilità intrinseca dei valori, ci si è affidati a due leggi di distribuzione per la scelta dei valori caratteristici, quella di Student e quella gaussiana (o normale).

Legge di distribuzione di Student

$$X_c = X_{\text{mean}} \cdot (1 - K_{\text{mean}} \cdot s) \quad (\text{Frank et al., 2004})$$

Dove:

X_c = valore caratteristico del parametro geotecnico considerato


X_{mean} = valore medio aritmetico relativo ad una serie n di risultati ottenuti da prove di laboratorio eseguite sui campioni ritenuti dal professionista come afferenti al volume di terreno interessato;

K = variabile dipendente dalla legge di distribuzione di Student e della probabilità di non superamento adottata;

$s = dv/X_{\text{mean}}$ = deviazione standard della distribuzione/valore medio della distribuzione.

In questo caso, quindi, il valore caratteristico scelto rappresenta una stima cautelativa del valore medio X_{mean} della popolazione statistica. I valori di K_{mean} da utilizzare nell'equazione, come specificato nella definizione, sono quelli ricavabili dalla distribuzione di Student, dove $K_{n,\text{mean}} = t_{n-1, 0,95} (1/n)^{0,5}$ (con n = numero dei dati disponibili dalle prove di laboratorio eseguite per il livello geotecnico considerato). Il coefficiente $K_{n,\text{mean}}$ è calcolato tenendo conto che il fattore "t" relativo alla distribuzione di Student è riferito ad una probabilità del 95% (Frank et al., 2004).

Analogamente, per i valori caratteristici dei principali parametri geotecnici da adottare quando il volume del terreno interessato dallo stato limite è piccolo, con riferimento alla lunghezza di fluttuazione della proprietà del terreno, o quando si può assumere che il comportamento del terreno è governato da valori locali bassi, si applica la stessa relazione, ma il coefficiente K , definito in questo caso $K_{n,\text{low}}$, è calcolato con la seguente espressione: $K_{n,\text{low}} = t_{n-1, 0,95} ((1/n) + 1)^{0,5}$ (con n sempre uguale al numero dei dati disponibili dalle prove

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

di laboratorio eseguite per il livello geotecnico considerato).

Dalla Letteratura specializzata in materia di statistica per i valori di t_{n-1} 0,95, si sono elaborate funzioni matematiche per il calcolo diretto del fattore K per i due casi K_{mean} e K_{low} :

$$K_{mean} = 6,891 \cdot e^{(-0,6661 \cdot x)} + 0,8315 \cdot e^{(-0,03509 \cdot x)}$$

$$K_{low} = 8,703 \cdot e^{(-0,6081 \cdot x)} + 1,997 \cdot e^{(-0,005196 \cdot x)}$$

La legge di Student tende alla legge di distribuzione normale al tendere all'infinito dei dati a disposizione.

Nella pratica la t di Student viene approssimata ad una normale quando il numero di dati a disposizione è >30 (come nel nostro caso).

Legge di distribuzione Normale

Per i valori caratteristici medi si è considerata una probabilità di superamento del 70%.

Per i valori caratteristici minimi si è considerata una probabilità di superamento del 95%.


I risultati delle due elaborazione probabilistica si riassumono a continuazione:

	Peso di volume medio [kN/m ³]	Resist. a compressione uniax. σ_{ci} [MPa]	$E_{s50\%}$ [GPa]	$E_{s50\%}$ [GPa]	$\nu_{50\%}$ [-]	GSI
Numero dati disponibili	50.0	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
kmean	0.1	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
klow	1.5	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69
Valori caratteristici medi Student	19.6	5.65	2.49	2.45	0.41	56.6
Valori caratteristici minimi Student	17.9	0.87	-3.29	-4.80	0.31	45.5
Valore caratteristico medio DN (frattile 30%)	20.4	4.8	1.46	1.15	0.39	54.7
Valore caratteristico minimo DN (frattile 5%)	17.5	1.0	-3.11	-4.56	0.32	45.9

Per quanto riguarda il parametro m_i , con riferimento alla composizione prevalente di marne si è attribuito in accordo ad Hoek, un m_i pari a 7.

Nei calcoli pertanto saranno impiegati i seguenti valori caratteristici medi e minimi:

	Formazione	M	
		Marne -Medi	Marne Minimi
	Litotipo		
	Copertura H(m)	95	95
CARATTERISTICHE DELLA ROCCIA INTATTA	var	MAX	MAX
peso specifico della roccia	γ unità MN/m ³	0.02	0.02
Resistenza a compressione uniax. Della roccia intatta	σ_{ci} Mpa	4.8	1
Parametro m_i	m_i	7	7
Modulo di Poisson	ν	0.30	0.30

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

6.1.3 Assegnazione valori caratteristici per tratta

I **valori minimi** sono associati alle seguenti zone:

- ✓ zone a basse coperture ($<2D_{\text{equivalenti}}$) di imbocco;
- ✓ piazzole di sosta;
- ✓ bypass
- ✓ al 30% dello scavo della galleria naturale ad alte coperture ($>2D_{\text{equivalenti}}$).

I **valori medi** sono associati alle seguenti zone:

- ✓ al 70% dello scavo della galleria naturale ad alte coperture ($>2D_{\text{equivalenti}}$).

6.1.4 Parametri di resistenza e deformabilità ammasso

Per definire i parametri di resistenza e deformabilità caratteristici degli ammassi rocciosi secondo il criterio di rottura assunto, sono state utilizzate le seguenti relazioni:

parametri di resistenza (Hoek-Brown 2002):

$$mb = mi \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$


parametri di deformabilità (Hoek-Brown 1988):

Essendo σ'_{cm} la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso.

Parametri di deformabilità dell'ammasso roccioso (Hoek-Brown 2002):

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{[(GSI-10)/40]} \quad \text{valida per ammassi caratterizzati da } \sigma_{ci} \leq 100 \text{ MPa}$$

Nelle espressioni sopra riportate compare il parametro D che rappresenta un indice legato al disturbo apportato dal sistema di scavo all'ammasso roccioso. D varia da 0 (assenza di disturbo) a 1 (massimo disturbo). Nel caso in oggetto, le marne saranno scavate con mezzi meccanici che minimizzano il disturbo all'ammasso circostante. Pertanto, secondo le indicazioni degli autori si assume $D=0$.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Di seguito si riepilogano le caratteristiche geotecniche degli ammassi rocciosi determinate con riferimento alle tratte a comportamento omogeneo individuate:

PARAMETRI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA' DELLA MASSA ROCCIOSA

	Formazione		Formazione di Borutta	
	Unità		Marne_caratteristiche	
CARATTERISTICHE DELLA ROCCIA INTATTA	var	unità		
peso specifico della roccia	γ	MN/m ³	0,02	
Resistenza a compressione uniax. Della roccia intatta	CO	MPa	1-4,8	
Parametro mi	mi		7	
Modulo di Poisson	ν		0,3	
CARATTERISTICHE DELLA MASSA ROCCIOSA	var	unità	MIN rappr.	MED rappr.
RMR	RMR		42	64
GSI in condizioni di picco	GSI		45	55
GSI in condizioni residue	GSI		45	55
Resistenza a comp. uniax. Dell'ammasso	σ_{cb}	Mpa	0,10	0,72
Parametri di resistenza secondo Hoek et al. (2002)				
Fattore di disturbo per la roccia distrurbata	Db		0	0
Parametro a	a		0,508	0,504
parametro di resistenza m per roccia indisturbata	mb		0,982	1,403
parametro di resistenza s per roccia indisturbata	s		0,00222	0,00674
Parametri di deformabilità secondo Hoek-Brown (1988)				
Modulo elastico	Em	Mpa	750	2922

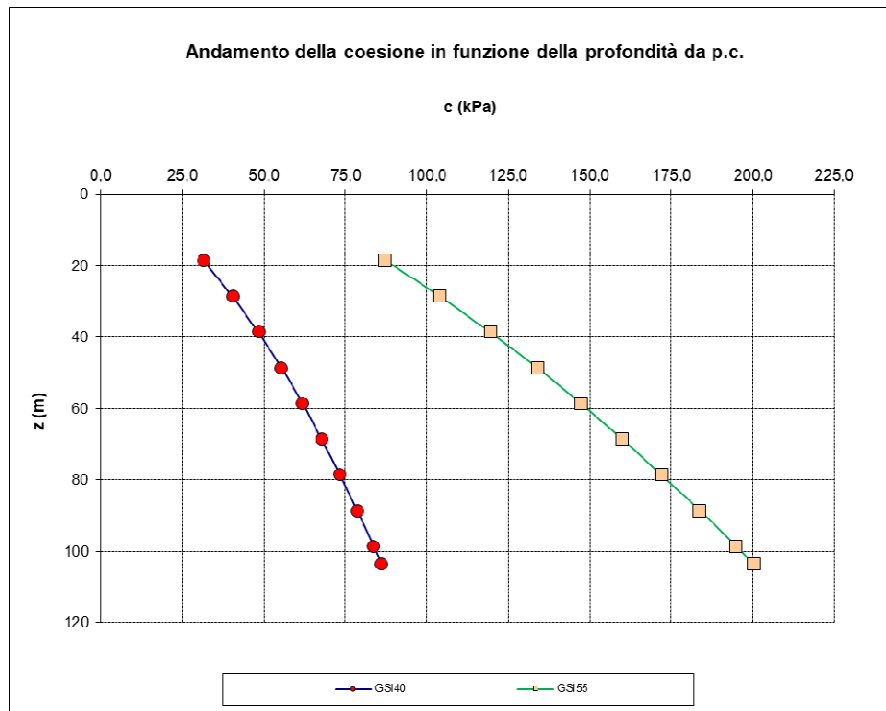
6.1.5 Parametri di resistenza equivalenti Mohr-Coulomb

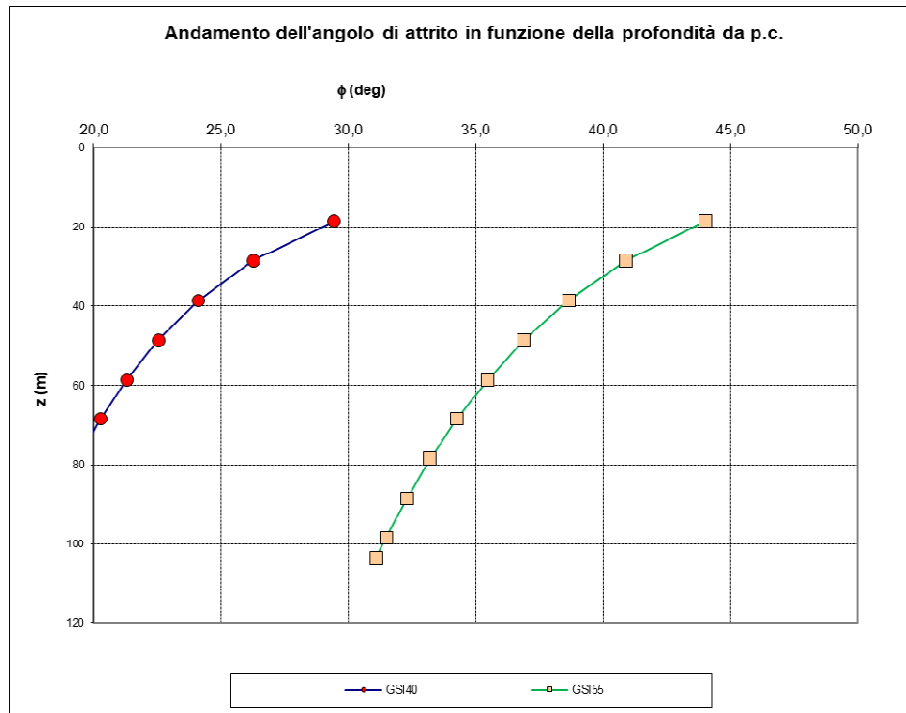
A continuazione si riportano i parametri equivalenti Mohr-Coulomb in funzione della profondità:

Parametri geotecnici secondo Mohr-Coulomb

		GSI= 45				GSI= 55			
Hc	z	s'3max	s'3n	f'	c'	s'3max	s'3n	f'	c'
(m)	(m)	(Mpa)	(Mpa)	(deg)	(kPa)	(Mpa)	(Mpa)	(deg)	(kPa)
10	18,5	0,1634	0,16344	29,4	31,5	0,1821	0,03793	44,0	87,2
15	23,5	0,2047	0,20465	27,7	36,2	0,2280	0,0475	42,3	95,9
20	28,5	0,2453	0,24534	26,3	40,5	0,2733	0,05694	40,9	104,1
25	33,5	0,2856	0,2856	25,1	44,6	0,3182	0,06629	39,7	112,0
30	38,5	0,3255	0,32549	24,1	48,4	0,3626	0,07555	38,6	119,6
40	48,5	0,4044	0,4044	22,5	55,4	0,4505	0,09386	36,9	133,9
50	58,5	0,4823	0,48232	21,3	61,8	0,5373	0,11195	35,5	147,3
60	68,5	0,5594	0,55945	20,3	67,8	0,6233	0,12985	34,3	160,0
65	73,5	0,5978	0,59775	19,8	70,6	0,6659	0,13874	33,7	166,1

Andamento della coesione in funzione della profondità da p.c.





6.1.6 Parametri di progetto utilizzati per le verifiche agli stati ultimi GEO

Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere eseguite con l'Approccio 1, considerando le due combinazioni di coefficienti:

Combinazione 1: (A1+M1+R1)

Combinazione 2: (A2+M2+R2)

con i valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e con i coefficienti γ_R dei gruppi R1 e R2 pari all'unità.

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ (o γ_s)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{c1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{c2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{c3}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0


La combinazione più gravosa per le verifiche di stabilità degli scavi sono quelle della combinazione 2, pertanto, si sono utilizzati i seguenti valori di resistenza Mohr-Coulomb equivalenti:

			GSI=	45	GSI=	55
Hc	z	Hc	f'	c'	f'	c'
(m)	(m)	(m)	(deg)	(kPa)	(deg)	(kPa)
10	18,5	10	24,3	25,2	37,7	69,8
15	23,5	15	22,8	28,9	36,0	76,7
20	28,5	20	21,5	32,4	34,7	83,3
25	33,5	25	20,5	35,7	33,6	89,6
30	38,5	30	19,7	38,7	32,6	95,7
40	48,5	40	18,4	44,3	31,0	107,1
50	58,5	50	17,3	49,5	29,7	117,9
60	68,5	60	16,5	54,2	28,6	128,0
65	73,5	60	16,1	56,5	28,1	132,9

6.1.7 Parametri di progetto utilizzati per le verifiche agli stati ultimi STR

Le verifiche strutturali degli elementi di rinforzo, in avanzamento dal fronte e sulle pareti di scavo, e delle strutture di rivestimento, di prima fase e definitive, devono essere eseguite come specificato al § 6.2.4.1.3, utilizzando i valori caratteristici dei parametri geotecnici, amplificando le azioni con i coefficienti parziali del gruppo A1 (1,3).

Pertanto, per i parametri geotecnici si utilizzeranno i seguenti parametri caratteristici:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

PARAMETRI DI RESISTENZA E DEFORMABILITA' DELLA MASSA ROCCIOSA


	Formazione		Formazione di Borutta	
	Unità		Marne_caratteristiche	
CARATTERISTICHE DELLA ROCCIA INTATTA	var	unità		
peso specifico della roccia	γ	MN/m ³	0,02	
Resistenza a compressione uniax. Della roccia intatta	CO	MPa	1-4,8	
Parametro mi	mi		7	
Modulo di Poisson	v		0,3	
CARATTERISTICHE DELLA MASSA ROCCIOSA	var	unità	MIN rappr.	MED rappr.
RMR	RMR		42	64
GSI in condizioni di picco	GSI		45	55
GSI in condizioni residue	GSI		45	55
Resistenza a comp. uniax. Dell'ammasso	σ_{cb}	Mpa	0,10	0,72
Parametri di resistenza secondo Hoek et al. (2002)				
Fattore di disturbo per la roccia distrurbata	Db		0	0
Parametro a	a		0,508	0,504
parametro di resistenza m per roccia indisturbata	mb		0,982	1,403
parametro di resistenza s per roccia indisturbata	s		0,00222	0,00674
Parametri di deformabilità secondo Hoek-Brown (1988)				
Modulo elastico	Em	Mpa	750	2922

6.2 Comportamento spingente: individuazione del fattore di squeeze

Per comportamento spingente dell'ammasso si intende "il comportamento che si manifesta quando la variazione dello stato di equilibrio originario indotta dallo scavo ed il relativo incremento delle sollecitazioni al contorno sono tali da provocare il raggiungimento dei valori di resistenza dell'ammasso roccioso con l'innesco di fenomeni deformativi dipendenti dal tempo (creep)", secondo la definizione dell'ISRM 1993.

L'entità delle convergenze, delle deformazioni e l'estensione della fascia plastica dipendono dalle condizioni geologiche e geostrutturali che caratterizzano gli ammassi, del rapporto tra tensioni geostatiche e proprietà di resistenza dell'ammasso, dall'eventuale presenza di falda e dalle pressioni interstiziali.

Gli effetti del comportamento spingente dell'ammasso sono strettamente dipendenti dalle modalità di scavo e posa in opera dei sostegni di prima fase. In particolare, se l'installazione dei sostegni è ritardata rispetto allo scavo, si evidenziano significative convergenze con riduzione della sagoma interna della galleria e conseguenti ridistribuzioni tensionali al contorno del cavo. Di contro, se il rivestimento è posto in opera in

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

prossimità del fronte, le deformazioni sono impedito e il comportamento spingente dell'ammasso porterà nel lungo termine ad un incremento di carico sui rivestimenti.

Gli studi condotti sulla base di scavi di gallerie in ammassi in cui si sono manifestati comportamenti spingenti, hanno permesso di stabilire quanto segue:

- ✓ Il comportamento spingente si manifesta in ammassi caratterizzati da scadenti caratteristiche di resistenza e deformabilità. Sono state individuate una serie di formazioni rocciose in cui il comportamento spingente può avere luogo, tra queste i gneiss, i micascisti e calciscisti (tipici di zone tettonizzate e faglie), gli argilloscisti, gli ammassi argilloso-marnosi;
- ✓ Il comportamento spingente è associato alla formazione di fasce plastiche al contorno della galleria con conseguenti significativi incrementi di convergenza e spostamenti al fronte di scavo;
- ✓ Il regime delle pressioni interstiziali ed il livello di falda influenzano l'evoluzione dello stato tensio-deformativo dell'ammasso. Misure di drenaggio che determinano un abbassamento del livello di falda, messi in atto in avanzamento dal fronte o dall'esterno si sono rivelati efficaci in termini di controllo delle deformazioni;
- ✓ Le modalità di scavo e rivestimento influenzano le condizioni di stabilità della galleria. In generale, la posa in opera di rivestimenti di prima fase in immediata prossimità del fronte di scavo è stato appurato essere il fattore più importante di controllo delle deformazioni dell'ammasso.


Una indicazione sul comportamento potenzialmente spingente degli ammassi interessati dagli scavi delle gallerie, in rapporto alle condizioni geostatiche dipendenti dalle coperture ed alle proprietà di resistenza, è determinabile sulla base dell'approccio di Hoek e Marinos (2000).

Gli autori utilizzano il rapporto tra la resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso σ_{cm} e lo stato tensionale in situ p_0 quale indicatore del potenziale comportamento spingente allo scavo, fornendo la seguente relazione approssimata che permette di stabilire la deformazione della galleria ε_t , intesa come rapporto tra lo spostamento radiale ed il raggio di scavo della galleria, in rapporto allo stato tensionale iniziale ed alla resistenza dell'ammasso:

$$\varepsilon = 0.15 \times (\sigma_{cb}/p_0)^{-1.85}$$

con:

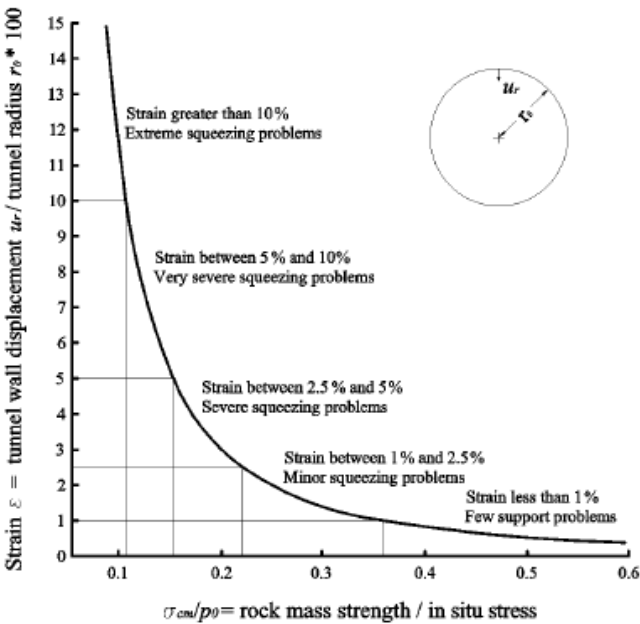
σ_{cb} resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso;
 p_0 carico litostatico.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

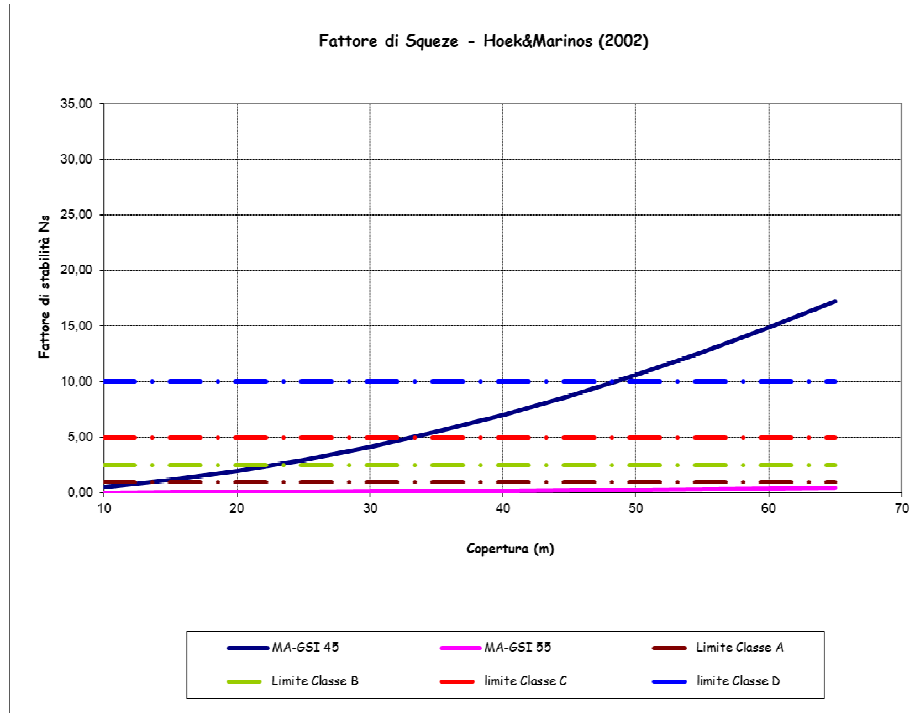
Sulla base della deformazione ϵ prevista vengono individuate n.5 classi di comportamento (Hoek – Marinos 2000):

A	$\epsilon < 1.0$	Non spingente
B	$1.0 \leq \epsilon < 2.5$	Leggermente spingente
C	$2.5 \leq \epsilon < 5.0$	Spingente
D	$5.0 \leq \epsilon < 10$	Molto Spingente
E	$10 \leq \epsilon$	Estremamente Spingente

La seguente curva fornisce in maniera diretta il legame tra il rapporto σ_{cm}/p_0 e la deformazione attesa, permettendo di individuare in prima approssimazione il comportamento potenzialmente spingente dell'ammasso:




In base a quanto sopra è stato individuato il potenziale comportamento spingente degli ammassi con riferimento alle intrinseche proprietà di resistenza ed allo stato tensionale iniziale corrispondente alle coperture disponibili.



I risultati mostrano come, considerando i valori medi caratteristici l'ammasso non presenta un comportamento spingente, ricadendo per ogni copertura nella classe A, non spingente.

Considerando i valori caratteristici minimi, al variare della copertura, si arriva ad avere comportamento in classe E, estremamente spingente.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

7 FASE DI DIAGNOSI

7.1 Fronte di scavo

In accordo con il metodo ADECO-RS, la valutazione dell'evoluzione dello stato tensionale nel terreno a seguito della realizzazione di una galleria viene condotta attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi del mezzo attraversato, che forniscono informazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine.

Il comportamento del cavo e del fronte è infatti funzione, oltre che delle caratteristiche geometriche della cavità stessa e dei carichi litostatici cui è soggetta, delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità del nucleo d'avanzamento, inteso come il prisma di terreno individuato a monte del fronte dallo stesso profilo di scavo per una profondità di circa un diametro. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tenso-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento sul fronte, cui conseguono il detensionamento e il decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del terreno al contorno del cavo. Se, viceversa, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, esso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato.


Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto a tre categorie di comportamento:

7.1.1 Categoria A: galleria a fronte stabile

Se il fronte di scavo è stabile, lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico, e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile, mantenendosi prevalentemente in campo elastico, e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta. Il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

7.1.2 Categoria B: galleria a fronte stabile a breve termine

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera la resistenza meccanica del materiale al fronte, che non ha più un comportamento di tipo elastico, ma assume un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con la conseguente redistribuzione delle tensioni risultano più accentuati che nel caso precedente, e producono nell'ammasso al fronte una decompressione che porta al superamento della resistenza caratteristica del materiale. Questa decompressione può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso, che manterrà un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano opportuni interventi, lo stato tenso-deformativo potrà evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in via di realizzazione. Ancora, il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

7.1.3 Categoria C: galleria a fronte instabile

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi in campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti, manifestandosi prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Tali deformazioni producono una decompressione più accentuata dell'ammasso al fronte, e portano ad un progressivo e rapido decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del materiale. Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuto prima dell'arrivo del fronte di scavo, e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento, che consentano di creare artificialmente l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

7.2 Metodi di analisi delle categorie di comportamento

L'individuazione delle classi di comportamento del fronte è stata condotta utilizzando i metodi di analisi della stabilità del fronte (Panet e Tamèz) e il metodo delle linee caratteristiche.

Le soluzioni presentate in letteratura che consentono di valutare la stabilità del fronte fanno riferimento ad una galleria realizzata in un terreno omogeneo.

Il metodo delle linee caratteristiche consente di valutare la risposta deformativa del fronte e della cavità nelle ipotesi di stato di sforzo costante ed isotropo e galleria a sezione circolare; è pertanto applicabile nel caso di galleria profonda (indicativamente con copertura in chiave di calotta > 2.5÷3 volte il diametro della galleria).


Per coperture inferiori a 2.5÷3 volte il diametro della galleria (condizione di galleria superficiale) occorre portare in conto la natura tridimensionale del problema e valutare i possibili meccanismi di rottura del terreno che possono propagarsi fino al piano campagna.

Le metodologie di analisi sono state applicate in relazione alle coperture di progetto, individuando, anche in funzione delle caratteristiche geotecniche, il comportamento del fronte fra i tre precedentemente illustrati:

- ✓ Categoria A – "Fronte stabile"
- ✓ Categoria B – "Fronte stabile a breve termine"
- ✓ Categoria C – "Fronte instabile".

7.2.1 Metodo semi-empirico di Panet

Per gli ammassi rocciosi la stabilità del fronte viene valutata in condizioni naturali, cioè in assenza di interventi di stabilizzazione, secondo le indicazioni fornite da Panet (1995).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Tale approccio fa riferimento al valore dell'indice:

$$N = \frac{2 \times p_0}{\sigma_{cm}}$$

essendo:

p_0 pressione geostatica

σ_{cm} resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso.

Se $N < 1$ la resistenza dell'ammasso non viene mai raggiunta dalle pressioni agenti al contorno del cavo, si è cioè in condizioni elastiche.

Nel caso si producano deformazioni plastiche ($N > 1$), vengono individuate tre possibili condizioni:

$N < 2$ il fronte di scavo è in condizioni di stabilità, le deformazioni nella zona del fronte rimangono in campo elastico; allontanandosi dal fronte si hanno condizioni di plasticizzazione;


$N > 5$ il fronte di scavo è in condizioni di stabilità critica (instabilità), la zona plastica si sviluppa davanti al fronte di scavo che risulta completamente plasticizzato;

$2 < N < 5$ si è in una situazione intermedia fra le due precedenti; il fronte di scavo presenta porzioni plasticizzate mentre la zona a tergo dello stesso si presenta completamente plasticizzata.

7.2.2 Metodo semi-empirico di Tamèz

La valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta in via preliminare mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite. In particolare, si fa riferimento alle teorie di Tamez e Cornejo che ipotizzano l'esistenza di prismi di terreno in distacco secondo sezioni longitudinali, giungendo a definire un coefficiente di sicurezza FSF nei confronti della stabilità del fronte di scavo. Il metodo dell'equilibrio limite proposto da Tamez tiene conto della riduzione dello stato di confinamento triassiale del nucleo di terreno oltre il fronte per mezzo di un meccanismo di rottura del tipo effetto volta, con il quale il volume di terreno gravante sulla corona della galleria è definito da un paraboloide, approssimato mediante tre solidi prismatici, come illustrato nelle figure seguenti.

In tal maniera il terreno effettivamente gravante sulla calotta corrisponde all'intera copertura presente solo nel caso di gallerie superficiali ($z/D < 3$), mentre per gallerie profonde il carico gravante in calotta,

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

corrisponde al paraboloide di altezza h_1 .

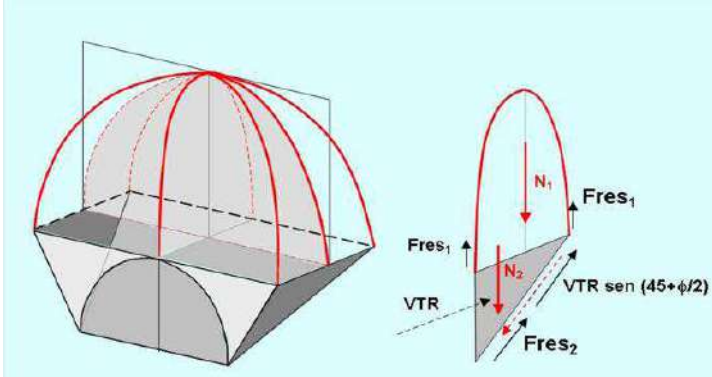
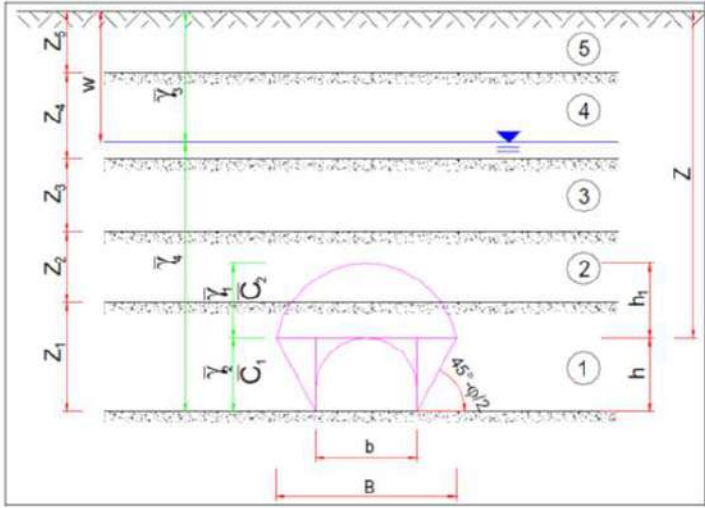



Figura. Metodo di Tamez.

In questo modo si determinano le massime tensioni tangenziali che si possono sviluppare sulle facce di ogni prisma senza che avvengano scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti). Il rapporto tra i momenti delle forze resistenti e delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza del fronte, denominato FSF (face security factor).

Il metodo consente di analizzare le condizioni di stabilità di terreni omogenei (denominati T1) o stratificati (T2), a comportamento prevalentemente coesivo (C) o a comportamento coesivo-attritivo (CF).

È possibile interpretare le condizioni di stabilità del fronte sulla base dei valori ottenuti per il coefficiente di sicurezza:

FSF ≥ 2 il fronte è stabile e l'ammasso rimane in campo elastico;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

$2 > FSF \geq 1.5$ il fronte è stabile ma l'ammasso evolve in campo elasto-plastico con spostamenti limitati;
 $1.5 > FSF \geq 1.3$ il fronte è stabile ma l'ammasso evolve in campo elasto-plastico con spostamenti significativi;
 Caso $FSF < 1$ il fronte è instabile.

Nel caso di un mezzo con coesione e angolo di attrito (gruppo T-1-CF), si può avere, con riferimento alla Figura seguente, che la stabilità del prisma (3), espressa dal coefficiente di sicurezza FS3 sia più critica dell'insieme dei tre prismi e il coefficiente di sicurezza dovrebbe essere assunto considerando il più piccolo tra i due.

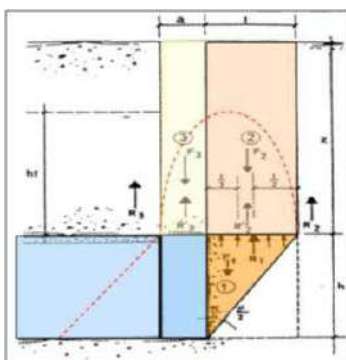
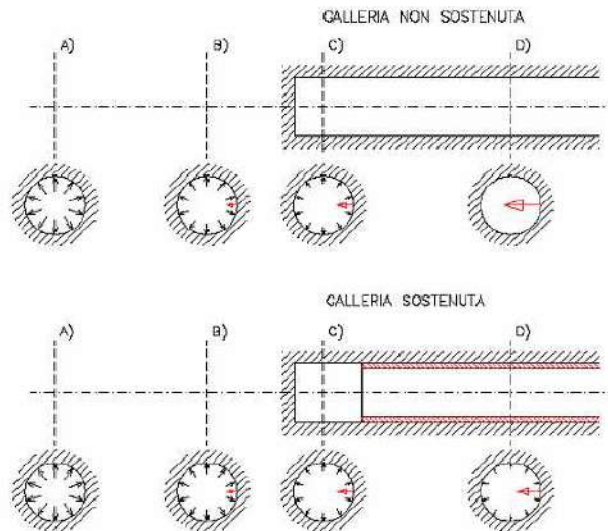


Figura. Stabilità del fronte scavo nel caso di un mezzo con coesione e angolo di attrito.

7.2.3 Metodo delle linee caratteristiche

Le linee caratteristiche, o meglio il metodo convergenza-confinamento, consistono nel simulare lo scavo di una galleria nell'ipotesi di simmetria assiale e di stato di deformazione piana. Lo scavo è rappresentato come una graduale riduzione di una pressione fittizia "p" applicata alle pareti della galleria, tramite cui si simula il progressivo deconfinamento del terreno prodotto dall'avvicinarsi del fronte di scavo alla sezione di calcolo e al successivo avanzamento del fronte stesso, cui corrisponde una convergenza radiale "u" crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso.

Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a 0; in caso contrario, allo stato finale, è presente una pressione di confinamento > 0 che rappresenta la pressione di equilibrio del cavo ottenuta dall'intersezione della linea caratteristica della cavità e dei rivestimenti impiegati. Questa ultima curva, a sua volta, dipende dalle proprietà dei materiali impiegati e dalle deformazioni subite dall'ammasso prima della posa in opera dei sostegni provvisori e quindi, in ultima analisi, è legata al comportamento del fronte di scavo ed al tipo di interventi previsti in avanzamento.



Mediante la sovrapposizione degli effetti delle linee "caratteristiche" della galleria, dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte, è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.

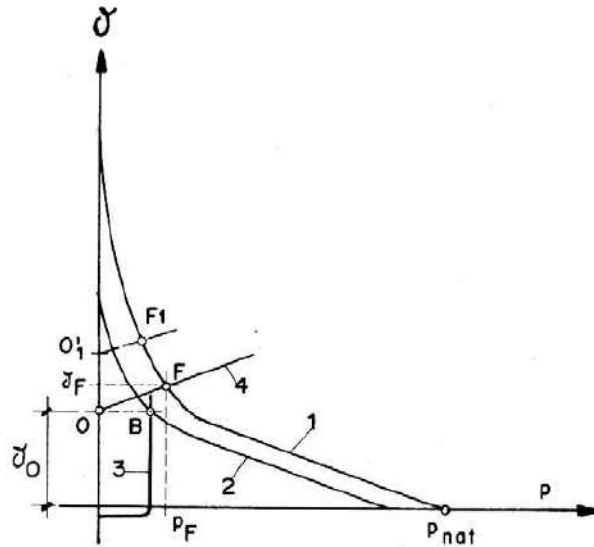
È possibile, pertanto, valutare l'andamento delle deformazioni radiali dei diversi elementi della galleria (fronte, cavità, nucleo di terreno al fronte) al variare delle pressioni di contenimento sul contorno del cavo.

È stata adottato il metodo proposto da Amberg-Lombardi in base al quale si sono determinate:

1. la linea caratteristica del fronte,
2. la linea caratteristica della cavità, lontano dal raggio di influenza del fronte,
3. la resistenza del nucleo di terreno situato davanti al fronte ($R_{1/2nucleo}$), definita a partire dal valore di coesione (c) del terreno e dal suo angolo di attrito (ϕ) secondo le seguenti relazioni:

$$R_{1/2nucleo} = c \cdot k_p^{0.5}$$

$$k_p = \tan^2(45^\circ + \phi / 2)$$




- 1) Linea caratteristica del cavo
- 2) Linea caratteristica della cavità in prossimità del fronte
- 3) Linea caratteristica del nocciolo di terreno situato davanti al fronte
- B) Punto di equilibrio tra la 3 e la 2 (sulle ordinate definisce la convergenza al fronte θ_0)
- 4) Linea caratteristica del sostegno messo in opera immediatamente dietro il fronte
- F) Punto di equilibrio tra la 4 e la 1 (definisce la pressione di equilibrio finale)

Il terreno è considerato omogeneo ed isotropo, con comportamento elasto-plastico con criterio di resistenza di Mohr- Coulomb. L'intersezione tra la linea caratteristica del fronte e la linea caratteristica del nucleo individua la condizione di equilibrio del fronte e permette di valutare la convergenza radiale nella sezione in corrispondenza del fronte di scavo (u_f). Tracciando la curva caratteristica del fronte, non solo si ricava il valore " u_f ", tenendo conto del tipo di preconsolidamento eventualmente effettuato in avanzamento dal fronte stesso, ma è anche possibile individuare a priori il comportamento della galleria, distinguendo tra fronte stabile (A), stabile a breve termine (B) ed instabile (C), secondo la classificazione ADECO-RS già presentata nei paragrafi precedenti.

L'attribuzione delle classi di comportamento viene effettuata secondo le seguenti modalità:

- Se il rapporto percentuale tra lo spostamento radiale al fronte e il raggio equivalente di scavo è minore di 0.3 il comportamento è di tipo A, così come quando il rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio equivalente è inferiore a 1.2;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- Se il rapporto percentuale tra lo spostamento radiale al fronte e il raggio equivalente di scavo è compreso tra 0.3 e 0.5 il comportamento è di tipo B, così come quando il rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio equivalente è compreso tra 1.2 e 1.5;
- Se il rapporto percentuale tra lo spostamento radiale al fronte e il raggio equivalente di scavo è maggiore di 0.5 il comportamento è di tipo C, così come quando il rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio equivalente è maggiore a 1.5.

u_{cavo}/R_{eq}	R_{pl}/R_{eq}	Classe di comportamento
< 0,2%	< 1,2	A
0,2 - 0,5 %	1,2 - 1,5	B
> 0,5 %	> 1,5	C

7.3 Analisi della stabilità dello scavo

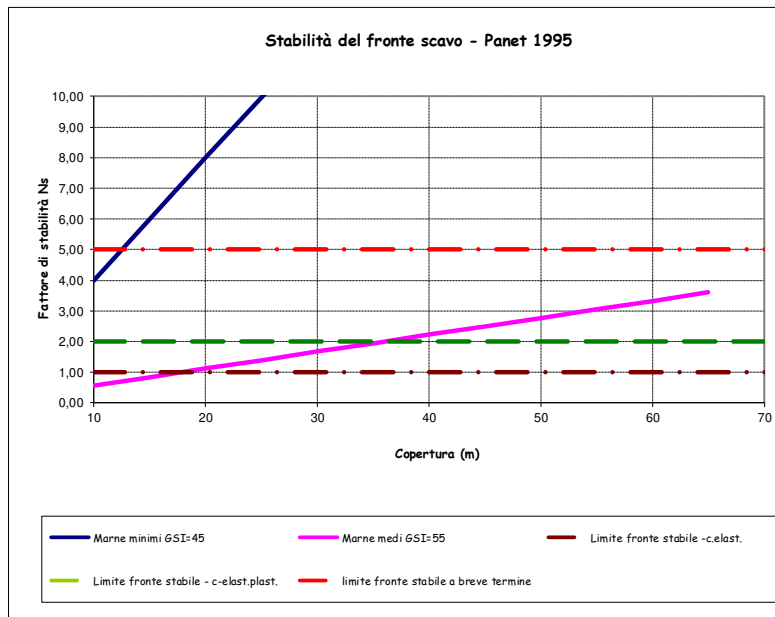
7.3.1 Stabilità del fronte di scavo - Metodo di Panet

Nel diagramma sottostante è riportato l'andamento dell'indice N, per la valutazione della stabilità del fronte di scavo in funzione delle coperture.

S stati considerati i valori min e max del range di variabilità delle caratteristiche geomeccaniche:


STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI PANET

Litotipo	var	unità	Marne valori	Marne valori		
			caratteristici minimi	caratteristici medi		
CARATTERISTICHE DELLA ROCCIA INTATTA						
peso specifico della roccia		γ MN/m ³	0,02	0,02		
Resistenza a compressione uniax. Della roccia intatta		CO MPa	1	4,8		
Parametro mi		mi	7	7		
CARATTERISTICHE DELLA MASSA ROCCIOSA						
GSI		GSI	45	55		
Resistenza a comp. uniax. Dell'ammasso		σ_{cb} Mpa	0,1	0,7		
FATTORE DI STABILITA' - $N_s = 2 p_0 / \sigma_{cb}$						
		Copertura (m)	po (MPa)	Ns	po (MPa)	Ns
Valori limite fattore di stabilità						
A	Ns <= 1.0 - fronte di scavo stabile in campo elastico	10	0,20	3,99	0,20	0,55
		15	0,30	5,99	0,30	0,83
		20	0,40	7,99	0,40	1,11
		25	0,50	9,99	0,50	1,39
A1	Ns <= 2.0 - fronte di scavo stabile in campo elast-plastico	30	0,60	11,98	0,60	1,66
		35	0,70	13,98	0,70	1,94
B	Ns <= 5.0 - fronte di scavo stabile a breve termine	40	0,80	15,98	0,80	2,22
		45	0,90	17,97	0,90	2,50
C	Ns > 5.0 - fronte di scavo instabile	50	1,00	19,97	1,00	2,77
		55	1,10	21,97	1,10	3,05
		60	1,20	23,97	1,20	3,33
		65	1,30	25,96	1,30	3,60



Scavi nelle Marne valori minimi:

- ✓ fronte di scavo stabile a breve termine fino ai 14 m di copertura
- ✓ fronte di scavo instabile per tutte le altre coperture.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Scavi nelle Marne valori medi:

- ✓ fronte di scavo stabile in campo elastico fino ai 18 m di copertura
- ✓ fronte di scavo stabile in campo elasto-plastico tra i 18m e i 35m
- ✓ fronte di scavo stabile a breve termine tra i 35 e i 65 m di copertura;

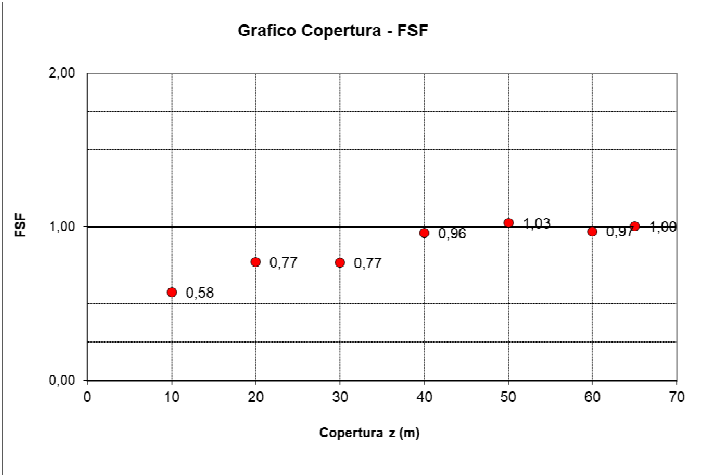
7.3.2 Stabilità del fronte di scavo - Metodo di Tamèz

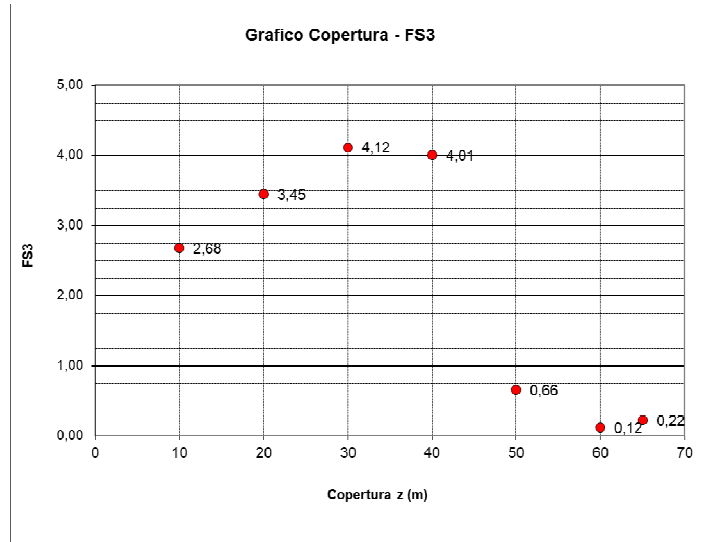
7.3.2.1 Verifica sagoma 1

Per le verifiche si è fatto riferimento alla sagoma interna più grande utilizzata nella tratta (Sagoma tipo 1) e si è considerato un carico idrostatico di 5m sopra la calotta fino alla copertura di 30 m (zone di imbocco).

Utilizzando i **valori caratteristici minimi** e applicando i coefficienti riduttivi previsti per le verifiche GEO si sono ottenuti i seguenti risultati:

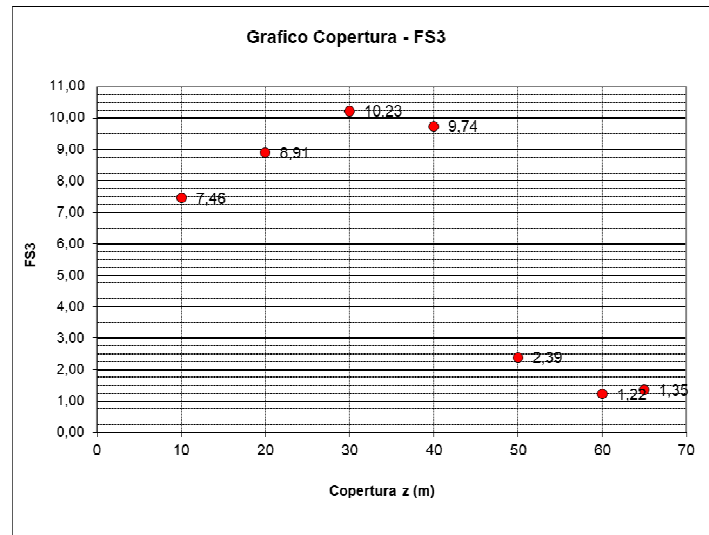
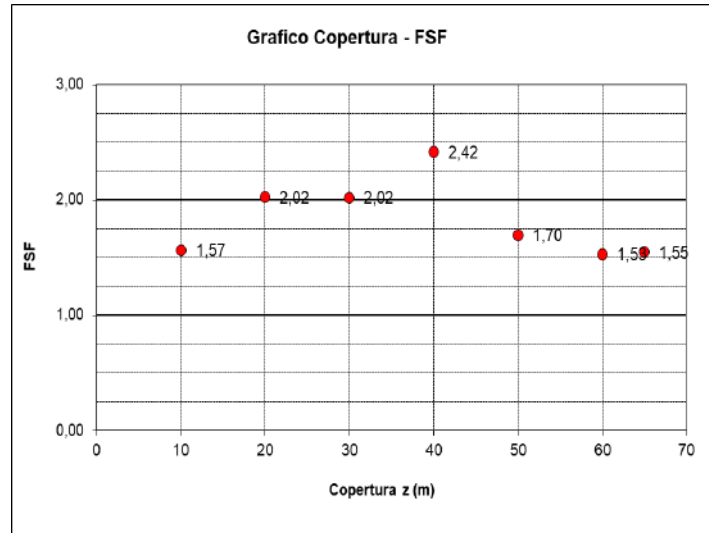
Copertura (m)	FSF	classe di scavo	FS3
65	1,00	B	0,22
60	0,97	C	0,12
50	1,03	B	0,66
40	0,96	C	4,01
30	0,77	C	4,12
20	0,77	C	3,45
10	0,58	C	2,68





Utilizzando i **valori caratteristici medi** e applicando i coefficienti riduttivi previsti per le verifiche GEO si sono ottenuti i seguenti risultati:

Copertura (m)	FSF	classe di scavo	FS3
65	1,55	A1	1,35
60	1,53	A1	1,22
50	1,70	A1	2,39
40	2,42	A	9,74
30	2,02	A	10,23
20	2,02	A	8,91
10	1,57	A1	7,46




In allegato si riportano i calcoli in dettaglio per tutte le coperture tanto per i valori minimi che per i medi.

7.3.2.2 Verifica bypass pedonali

Si prevede la realizzazione di tre (3) Bypass pedonali, uno ogni 300 m, alle seguenti progressive riferite alla canna dx:

- GN02_BPP01 4+250.60 copertura =60 m
- GN02_BPP02 4+550.60 copertura =35 m
- GN02_BPP03 4+850.60 copertura =15 m

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Per il bypass pedonale con la copertura massima si è considerato un carico idrostatico di 5 m sopra la calotta.

Per i parametri geomeccanici si sono considerati i **valori caratteristici minimi e medi** e applicando i coefficienti riduttivi previsti per le verifiche GEO si sono ottenuti i seguenti risultati:

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ - BYPASS PEDONALE 1 - VALORI MINIMI

Terreno Marna

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	4,7
altezza dello scavo	h	m	5,10
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	60,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	55,00
PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	54,2
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	54,2
angolo d'attrito	f	deg	16,5
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente Ka =sh/sv	Ka		0,50
coefficiente K0 =sh0/sv0	K0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z/D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z/D < 3$$

h1 = 7,99

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 3,81

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

tm3 = 118,6
tm2 = 641,7

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{hl}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{Ka}} \frac{hl}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 1,60$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{hl}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 1,65$$

Considerando i valori minimi, il valore stimato di FSF è pari a 1,60, pertanto, il fronte è stabile ma l'ammasso evolve in campo elasto-plastico con spostamenti limitati.

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ - BYPASS PEDONALE 1 - VALORI MEDI

Terreno Marna

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	4,7
altezza dello scavo	h	m	5,10
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	60,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	55,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	128,0
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	128,0
angolo d'attrito	f	deg	28,6
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = sh/sv$	K_a		0,50
coefficiente $K_0 = sh_0/sv_0$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7b \quad \text{per } z/D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z/D < 3$$

h1 = 7,99

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale	l	m	3,03
-------------------------------	---	---	------

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$tm3 = 246,6$$

$$tm2 = 804,2$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{hl}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{K_a}} \frac{hl}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2 \sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma - p]} = 2,36$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma - p} \left[\frac{hl}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 3,44$$

Considerando i valori medi, il valore stimato di FSF è pari a 2,36, pertanto, il fronte è stabile in campo elastico.

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ - BYPASS PEDONALE 2 - VALORI MINIMI

Terreno Mama

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	4,7
altezza dello scavo	h	m	5,10
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	35,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	30,00
PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	41,6
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	41,6
angolo d'attrito	f	deg	19,0
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		0,5
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v 0$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z/D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z/D < 3$$

h1 = 7,99

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 3,64

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

tm3 = 73,42
tm2 = 363,86

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{hl}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{K_a}} \frac{hl}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 1,58$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{hl}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 1,75$$

Considerando i valori minimi, il valore stimato di FSF è pari a 1,58, pertanto, il fronte è stabile ma l'ammasso evolve in campo elasto-plastico con spostamenti limitati.

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ - BYPASS PEDONALE 2 - VALORI MEDI

Terreno Marna

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	4,7
altezza dello scavo	h	m	5,10
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	35,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	30,00
PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	101,5
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	101,5
angolo d'attrito	f	deg	31,8
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $Ka = \sigma_h / \sigma_v$	Ka		0,5
coefficiente $K0 = \sigma_h / \sigma_v 0$	K0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3$$

h1 = 7,99

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale	l	m	2,84
-------------------------------	---	---	------

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$tm3 = 158,76$$

$$tm2 = 495,81$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{hl}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{Ka}} \frac{hl}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2 \sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 2,51$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{hl}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 3,79$$

Considerando i valori medi, il valore stimato di FSF è pari a 2,51, pertanto, il fronte è stabile in campo elastico.

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ - BYPASS PEDONALE 3 - VALORI MINIMI

Terreno Marna

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	4,7
altezza dello scavo	h	m	5,10
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	15,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	15,10
PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	28,9
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	28,9
angolo d'attrito	f	deg	22,8
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $Ka = \sigma_h / \sigma_v$	Ka		0,5
coefficiente $K0 = \sigma_{h0} / \sigma_{v0}$	$K0$		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	-1,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7b \quad \text{per } z/D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z/D < 3$$

h1 = 7,99

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 3,39

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

tm3 = 52,56
tm2 = 161,44


Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 1,86$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 2,93$$

Considerando i valori minimi, il valore stimato di FSF è pari a 1,86, pertanto, il fronte è stabile ma l'ammasso evolve in campo elasto-plastico con spostamenti limitati.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ - BYPASS PEDONALE 3 - VALORI MEDI
Terreno Marna

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	4,7
altezza dello scavo	h	m	5,10
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	15,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	15,10
PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	76,7
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	76,7
angolo d'attrito	f	deg	36,0
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		0,5
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v 0$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	-1,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$\begin{aligned}
 h1 &= 1.7 b && \text{per } z / D \geq 3 \\
 h1 &= z && \text{per } z / D < 3
 \end{aligned}
 \quad
 \begin{aligned}
 h1 &= && 7,99
 \end{aligned}$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 2,60

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\begin{aligned}
 \tau_{m3} &= c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi && \text{per tunnel profondi} \\
 \tau_{m3} &= c_2 && \text{per tunnel superficiali} \\
 \tau_{m2} &= c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] && \text{per tunnel profondi} \\
 \tau_{m2} &= c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] && \text{per tunnel superficiali}
 \end{aligned}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\begin{aligned}
 \tau_{m3} &= && 117,59 \\
 \tau_{m2} &= && 266,70
 \end{aligned}$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:


$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{hl}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{K_a}} \frac{hl}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 3,51$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{hl}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 6,55$$

Considerando i valori medi, il valore stimato di FSF è pari a 3,51, pertanto, il fronte è stabile in campo elastico.

Per i bypass pedonali, pertanto, non si prevede nessun preconsolidamento del fronte.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

7.3.3 Stabilità del fronte e della cavità - Metodo delle linee caratteristiche

7.3.3.1 Verifica sagoma 1

Si riportano a continuazione i risultati delle verifiche con il metodo delle linee caratteristiche, per i grafici i dettagli si rimanda all'allegato.

Utilizzando i **valori caratteristici minimi** e applicando i coefficienti riduttivi previsti per le verifiche GEO si sono ottenuti i seguenti risultati:

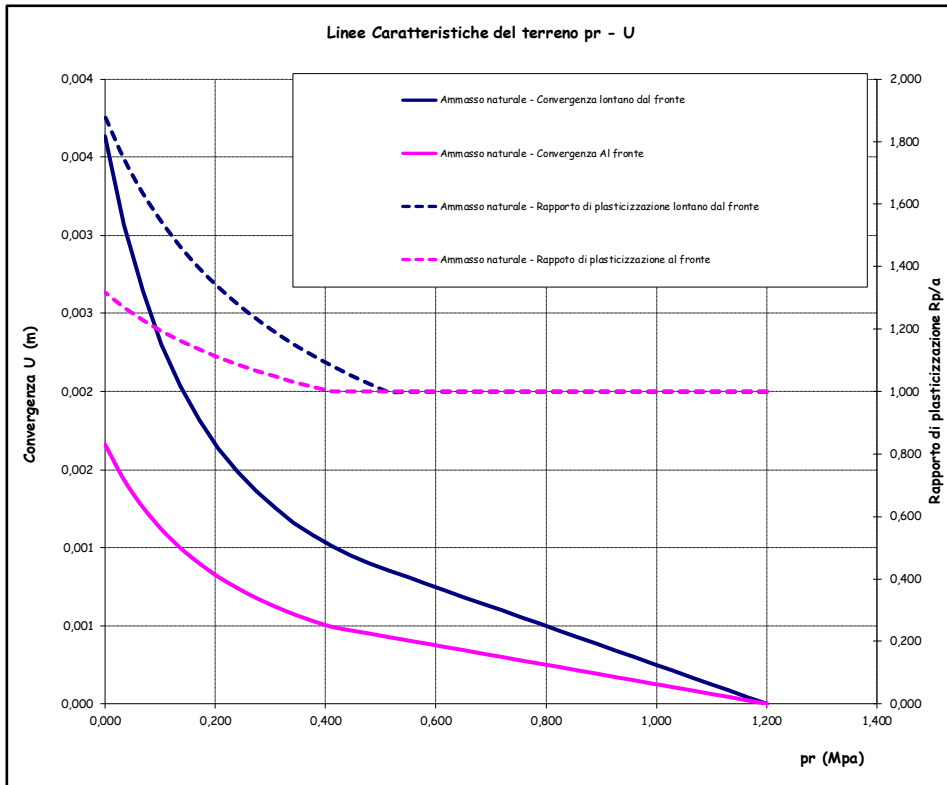
Copertura	Rapporto ucavo/Req	Rpl	RPL/Req	Classe di comportamento
m	%	m		
65	1,10	8,7	1,4	C
60	0,89	8,0	1,3	C
50	0,56	6,8	1,1	C
40	0,32	5,4	0,9	B
30	0,17	4,1	0,7	A

Utilizzando i **valori caratteristici medi** e applicando i coefficienti riduttivi previsti per le verifiche GEO si sono ottenuti i seguenti risultati:

Copertura	Rapporto ucavo/Req	Rpl	RPL/Req	Classe di comportamento
m	%	m		
65	0,07	2,1	0,3	A
60	0,06	2,0	0,3	A
50	0,05	1,7	0,3	A
40	0,03	1,3	0,2	A
30	0,02	1,0	0,2	A

7.3.3.2 Verifica bypass pedonali

Si verificano con le linee caratteristiche i soli bypass pedonali 1 e 2, quelli ad alte coperture (>2D) con i valori caratteristici medi.



DATI		
Geometria		
a	m	2,80
C	m	60,0
Parametri geotecnici		
γ	MN/m ³	0,0200
ϕp	(°)	29
cp	MPa	0,128
ϕr	(°)	29
cr	MPa	0,128
E	Mpa	2922
ν		0,3
ψ	(°)	0
Stato di sforzo iniziale		
K0		1,00
$\sigma 0$	Mpa	1,20

RISULTATI		
Lontano dal fronte		
Uinf	m	0,004
ϵinf	%	0,1
Rpinf - a	m	2,5
Al fronte		
Uf	m	0,002
ϵf	%	0,1
Rpf - a	m	0,9

Figura: Linee caratteristiche Bypass 1 in condizioni naturali.

Considerando i valori medi, la classe di comportamento del bypass pedonale 1 è di tipo A, stabile in campo elastico.

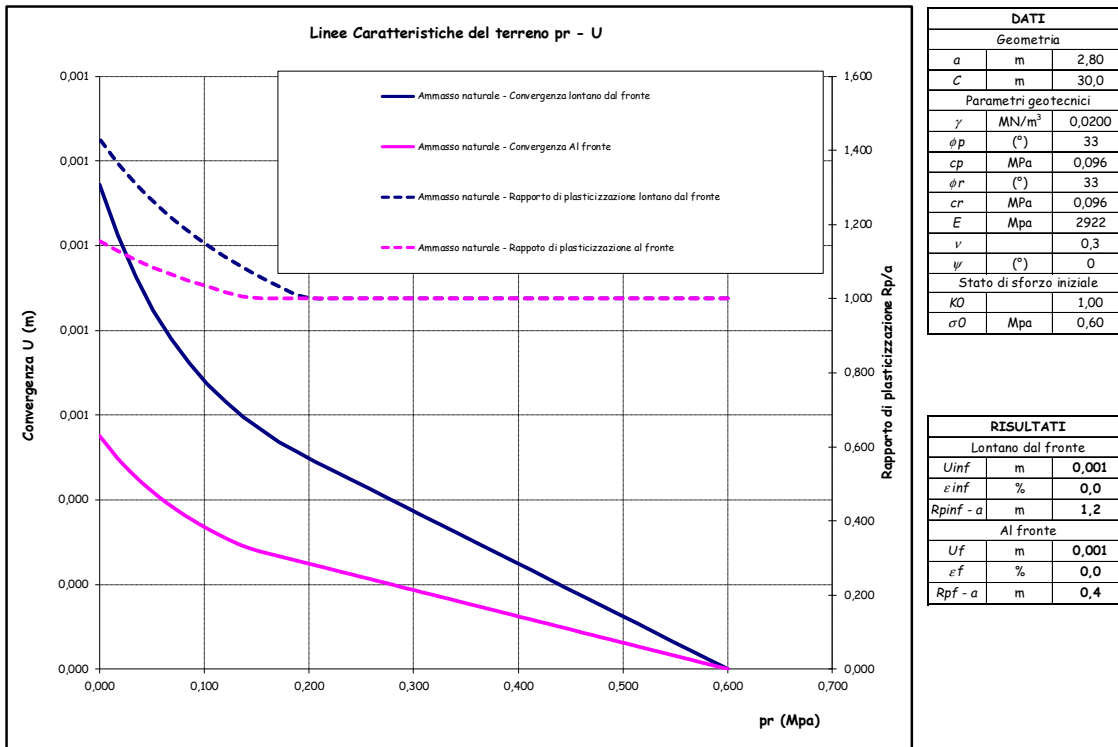



Figura: Linee caratteristiche Bypass 2 in condizioni naturali.

Considerando i valori medi, la classe di comportamento del bypass pedonale 1 è di tipo A, stabile in campo elastico.

7.3.4 Definizione della categoria di comportamento

Dalle analisi effettuate con i metodi di Tamez e delle linee caratteristiche, considerati più attendibili del metodo di Panet, si può affermare che considerando i **valori caratteristici medi** dell'ammasso roccioso il comportamento del fronte di scavo è, per tutte le coperture, stabile a lungo termine e con deformazioni in campo elastico (**A**).

Per i **valori minimi**, il comportamento ricade nel campo elasto – plastico con categoria prevalente di comportamento di tipo **C**. In queste zone si prevede, pertanto, un preconsolidamento al fronte per "riportare" lo scavo in una categoria di comportamento elastico (**A**).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

7.4 Dimensionamento degli interventi di preconsolidamento

Come dimostrato precedentemente, è necessario adottare nelle zone in cui il comportamento allo scavo è di tipo B o C interventi di consolidamento del fronte e al contorno del cavo allo scopo di controllare la risposta deformativa del fronte e il detensionamento dell'ammasso.

Il precontenimento del fronte viene realizzato con **elementi strutturali in vetroresina (VTR)** che, realizzando un irrigidimento del nucleo d'avanzamento, prevengono i fenomeni di estrusione e mantengono i conseguenti fenomeni deformativi entro valori tali da mantenere l'ammasso il più possibile in campo elastico. L'intervento di consolidamento al contorno del cavo viene realizzato con elementi strutturali in acciaio S355, valvolati ed iniettati (infilaggi).

L'effetto degli interventi di consolidamento del fronte e del cavo viene considerato attraverso l'incremento della resistenza al taglio (coesione equivalente) del materiale interessato dal trattamento mentre a favore di sicurezza si trascura l'incremento della rigidità,

Nel seguito si riportano i calcoli per il dimensionamento degli interventi di stabilizzazione del fronte di scavo e del cavo.

7.4.1 Chiodature in VTR (fronte)

Per la stabilizzazione del fronte l'inserimento di elementi strutturali (Tubi 60/40) cementati in foro al fronte di scavo conferisce al terreno un incremento di coesione, funzione della resistenza al taglio del materiale, e una contemporanea azione di contenimento sul volume da scavare schematizzabile attraverso una "**pressione di contenimento al fronte**", funzione della resistenza allo sfilamento delle barre e della resistenza alla rottura per trazione degli elementi utilizzati (Grasso, Peila e Blondeau, Christiansen, Guilloux, Schlöner).

La resistenza alla rottura per trazione risulta:

$$T_t = A_{vtr} \times \sigma_y \quad \text{dove:}$$

A_{vtr} = area dell'elemento strutturale:

σ_y = tensione di calcolo dell'elemento strutturale allo SLU pari a 506 MPa.


La resistenza allo sfilamento dell'elemento tra malta e terreno risulta:

$$T_{c1} = \pi \times B \times L \times \tau_{c1}$$

τ_{c1} = aderenza tra malta e terreno ricavato in base agli studi di Bustamente, si considera un valore di aderenza pari a 0.3 MPa.

L = lunghezza di trasferimento pari a 9.0 m (sovrapposizione).

La resistenza allo sfilamento dell'elemento tra vtr e malta risulta:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

$$T_{c2} = \pi \times D \times L \times \tau_{c2}$$

τ_{c2} = aderenza tra barra in vtr e malta di iniezione assunta pari a 1.690 MPa pari al valore dell'aderenza f_{bd} della miscela per $R_{ck} = 15$ MPa:

D = diametro del tubo in vtr (0.06m):

L = lunghezza di trasferimento pari a 9.0 m.

La chiodatura esercita un'azione di contenimento passivo del fronte, rappresentabile, nel caso di impiego di elementi strutturali in VTR, da una tensione di confinamento σ_{3VTR} fittizia, funzione dei parametri tecnici del trattamento secondo le equazioni:

$$\sigma_{3VTR_A} = \frac{\tau_A \cdot L_A \cdot 2p_A}{A_i}$$

$$\sigma_{3VTR_B} = \frac{\sigma_T \cdot A_T}{A_i}$$

$$\sigma_{3VTR} = \text{minimo} (\sigma_{3VTR_A}, \sigma_{3VTR_B})$$

dove:

τ_a = tensione di aderenza ammasso-fondazione

L_A = lunghezza minima dell'elemento di rinforzo (corrispondente alla sovrapposizione degli interventi)

$2p_A$ = perimetro della sezione reagente a sfilamento

σ_t = resistenza a trazione dell'elemento di rinforzo


A_i = area di influenza di un elemento strutturale

A_t = sezione dell'elemento resistente a trazione

7.4.2 "Ombrello" di infilaggi metallici (calotta)

Con degli interventi di preconsolidamento al contorno di scavo mediante elementi in acciaio, il materiale consolidato è caratterizzato dallo stesso modello costitutivo assunto per l'ammasso originario. L'effetto dell'intervento di consolidamento del cavo viene considerato attraverso l'incremento della resistenza al taglio del materiale interessato dal trattamento mentre a favore di sicurezza si trascura l'incremento della rigidezza.

La sezione tipo C1 descritta a continuazione prevede l'adozione di un intervento di pre-sostegno in calotta, mediante posa di tubi metallici di diametro $\varnothing 114.5$ sp. 10mm, disposti a interasse di circa 0.40m, e di lunghezza pari a 16m (sovrapposizione pari a 4.0m). Le centine sono disposte a passo medio di 1.0 m per campi di scavo di 12 m. I tubi metallici sono previsti in acciaio S355 e hanno quindi le seguenti caratteristiche meccaniche:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

$$E = 210000 \text{ MPa};$$

$$\text{Tensione di snervamento } f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

a cui corrispondono le seguenti tensioni limite:

$$\text{Flessione: } 355 \text{ MPa};$$

$$\text{Taglio: } 355 / (3)^{0,5} = 205 \text{ MPa}.$$

La verifica dei tubi metallici è effettuata in accordo allo Stato Limite Ultimo, considerando le sollecitazioni derivanti utilizzando lo schema geometrico che simula il sistema tubi-centine come una trave su più appoggi in cui il momento e il taglio di calcolo derivano dalle espressioni:

$$M = p_{v.m} L^2 / 10$$

$$T = p_{v.m} L / 2$$

dove: L è la luce di calcolo nello schema sopra citato, derivato dalla somma del passo effettivo delle centine e del tratto di scavo posto fra l'ultima centina e il fronte; $p_{v.m}$ è il carico di progetto dei tubi, valutato ipotizzando un solido di carico di 6 m gravante al contorno del cavo secondo la formula:

$$p_{v.m} = (\gamma H) i$$

dove:

γ è il peso specifico medio dell'ammasso roccioso (20 kN/m³);

H è l'altezza del solido di carico gravanti sugli infilaggi (6 m);

i è l'interasse degli infilaggi (0.40 m).

Sulla base di quanto sopra si ha che il carico risulta pari a:

$$p_{v.m} = (\gamma H) i = 20 \times 6 \times 0,4 = 48 \text{ kN/ml}$$

Sulla base delle geometrie effettive della sezione C1 si ha poi che:


$$L = 1 + 1 = 2 \text{ m}$$

Avendo assunto cautelativamente la distanza tra la centina ed il fronte di scavo pari a 1.0 m. Le sollecitazioni risultanti sono quindi pari ad un momento di 19,2 kNm e ad un taglio di 48 kN; tali sollecitazioni sono state moltiplicate per il coefficiente 1.3 per le analisi allo Stato Limite Ultimo. Sulla base di queste sollecitazioni risulta uno stato tensionale compatibile con i materiali utilizzati.

Essendo infatti le caratteristiche geometriche del tubo pari a:

$$A = \text{Area} = 32.80 \text{ cm}^2$$

$$W_x = \text{Modulo di resistenza flessionale} = 78.70 \text{ cm}^3$$

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

si ottengono le seguenti tensioni agenti massime:

$$\sigma_{max} = M_{max} \cdot 1.3 / W_x = 317,2 \text{ MPa} < f_{yk}$$

$$\tau_{max} = 1.3 \cdot 2 T_{max} / A = 38 \text{ MPa} < \tau_{ult}$$

da cui $\sigma_{id} = 238 \text{ MPa}$.

La verifica dell'ombrello di tubi metallici è quindi soddisfatta, tenendo tra l'altro in conto che l'intervento è provvisorio.

7.4.3 Chiodature in VTR radiali

Nella canna sud (sx), attuale canna nord, per poter demolire in sicurezza il rivestimento definitivo esistente si prevede la realizzazione di VTR radiali con il fine di consolidare l'ammasso nella zona interessata dagli scavi.

L'effetto del consolidamento è quello di migliorare le caratteristiche di resistenza e deformabilità del terreno. Il modulo elastico del terreno trattato (E_{eq}) si calcola nella seguente forma:

Nel caso in esame l'area di trattamento al ml è pari a 152m².

Il modulo elastico del terreno considerando i valori caratteristici minimi è pari a 750 MPa.

Il modulo elastico dell'area trattata si assume pari a 10 GPa.

L'area effettivamente consolidata è pari a due diametri di perforazione (2x100mm) per la lunghezza dei chiodi per il numero di e divisa per il passo longitudinale per un totale di:

$$A_c = 0,2 \cdot 9 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 \cdot 5 = 12,2 / 1,5 = 8,13 \text{ m}^2$$


Il modulo elastico equivalente dell'area risulta pertanto essere pari a:

$$E_{eq} = (8,13 \cdot 10 + (152 - 8,13) \cdot 0,75) / 152 = 1,25 \text{ GPa}.$$

7.4.4 Verifica di stabilità del fronte con preconsolidamenti con metodo di Tamèz

7.4.4.1 Verifica sagoma 1

Per il FSF le sezioni critiche sono quelle a bassa copertura, per il FS3 le sezioni critiche solo quelle a massima copertura, come si riporta nella tabella seguente:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	


Copertura (m)	FSF	classe di scavo	FS3
65	1,00	B	0,22
60	0,97	C	0,12
50	1,03	B	0,66
40	0,96	C	4,01
30	0,77	C	4,12
20	0,77	C	3,45
10	0,58	C	2,68

Si riporta quindi l'applicazione dei chiodi in VTR al fronte nella sezione critica di copertura di 10m:

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - EFFETTO DELLE CHIODATURE AL FRONTE

DATI	Var	unità	
Diametro di perforazione	D	m	0,10
Area dei chiodi /elementi strutturali	A	m ²	0,00157
tensione di snervamento VTR	sy	kPa	506000
aderenza terreno-chiodo/e.strutturale	tc	kPa	300
Area di scavo	As	m ²	156
Numero di chiodi al fronte	Nc		38
Area d'influenza delle chiodature	Ai	m ²	4,1
Lunghezza di trasferimento	L	m	9,0
Reazione limite di trazione:	$Tt = A \times sy$	kN	795
Reazione allo sfilamento:	$Tc = p \times B \times tc \times L$	kN	848
Reazione minima	$Tvtr = \min(Tt; Tc)$	kN	795
Tensione di confinamento eq.	$\sigma_{3vtr} = Tvtr / Ai$	kPa	194,1

Calcolo della coesione equivalente al fronte
 angolo d'attrito - f (deg) Δc (kPa)
 24,3 150,3

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ

Terreno Marna

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	16,19
altezza dello scavo	h	m	11,33
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	10,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,00
profondità della falda	w	m	z
PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	175,5
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	25,2
angolo d'attrito	φ	deg	24,3
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente Ka =σh/σv	Ka		0,50
coefficiente K0 =σh0/σv0	K0		0,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$\begin{aligned}
 h1 &= 1.7 b && \text{per } z / D \geq 3 \\
 h1 &= z && \text{per } z / D < 3
 \end{aligned}
 \quad h1 = \quad 10$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale	l	m	7,32
-------------------------------	---	---	------

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\begin{aligned}
 \tau_{m3} &= c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}g\phi && \text{per tunnel profondi} \\
 \tau_{m3} &= c_2 && \text{per tunnel superficiali} \\
 \tau_{m2} &= c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] && \text{per tunnel profondi} \\
 \tau_{m2} &= c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] && \text{per tunnel superficiali}
 \end{aligned}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\begin{aligned}
 \tau_{m3} &= \quad 25,2 \\
 \tau_{m2} &= \quad 25,2
 \end{aligned}$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad 2,33$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad 2,67$$

Il coefficiente stimato con il metodo di Tamez per la copertura di 10 m passa da 0,57 (categoria C) a 2,33 (categoria A). Pertanto, risultano verificate le sezioni a tutte le coperture.

7.4.5 Verifica di stabilità del fronte con preconsolidamenti con metodo delle linee caratteristiche

7.4.5.1 Verifica sagoma 1

Con il metodo delle linee caratteristiche la sezione critica era quella con 65 m di copertura.
 Applicando il preconsolidamento con chiodatura in VTR al fronte si ottengono i seguenti risultati:

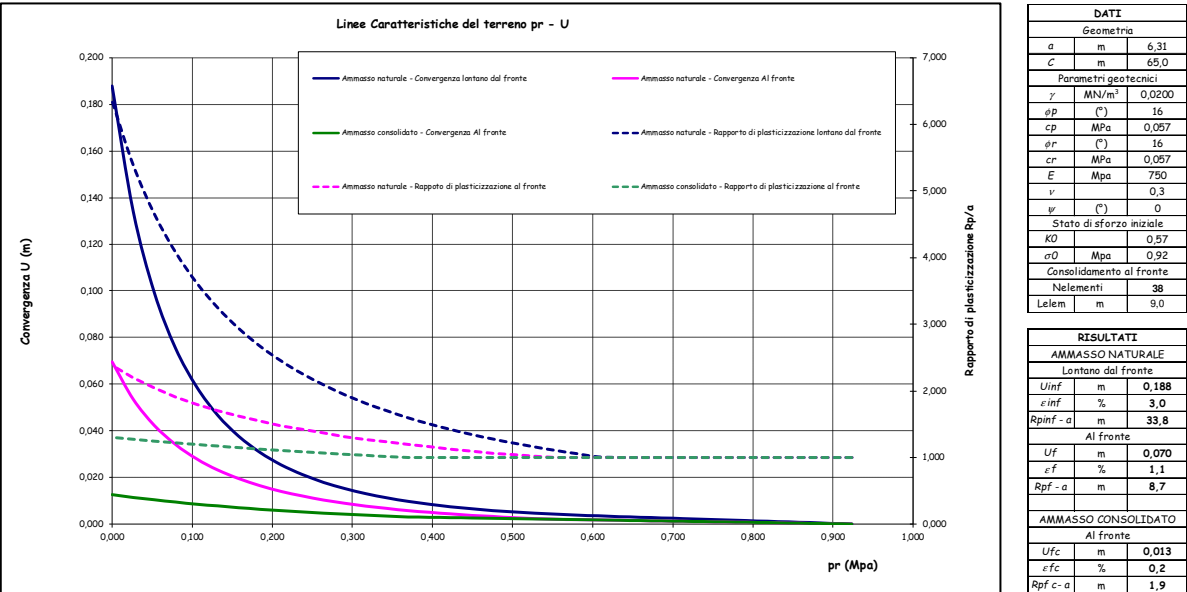



Figura: Linee caratteristiche sagoma 1, valori minimi a copertura massima=65 m con preconsolidamento del fronte.

Come si può osservare, inserendo 38 VTR al fronte, la convergenza al fronte passa 7 cm a 1,3 cm con riduzione della fascia plasticizzata da 9 m a 2 m circa.

Il fronte di scavo ha comportamento di tipo A, stabile con spostamenti in campo elastico.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

8 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo verranno definiti gli interventi da adottare durante la realizzazione della galleria, necessari a garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi).

Le sezioni tipo applicate alla costruzione della galleria sono le seguenti:

- ✓ Sezione di avanzamento, canna dx di nuova realizzazione, B0 – Sagoma 1 (B0-1)
- ✓ Sezione di avanzamento, canna dx di nuova realizzazione, B2 – Sagoma 1 (B2-1)
- ✓ Sezione di avanzamento, canna dx di nuova realizzazione, C1 – Sagoma 1 (C1-1)
- ✓ Sezione di alesaggio, canna sx Aa – Sagoma 1 (Aa-1)
- ✓ Sezione di alesaggio, canna sx Aa – Sagoma 3 (Aa-3)
- ✓ Sezione di alesaggio, canna sx Aa – Sagoma 1 (Bb-1)
- ✓ Sezione di alesaggio, canna sx Aa – Sagoma 3 (Bb-3)
- ✓ Sezione di avanzamento Bypass pedonale (BP)

A continuazione sono descritte le sezioni tipo di avanzamento, la successione delle fasi esecutive ed i campi di applicazione.

8.1 Sezione di avanzamento B0 – Sagoma 1

Tavola di riferimento: CA357_P00GN00OSTST01_A

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento B0 per il 70% dello sviluppo della Galleria una volta superate le zone detensionate di imbocco.


La sezione di avanzamento B0 associata alla sagoma interna di tipo 1 viene applicata nei tratti seguenti:

canna dx: Pr. 4+131.00 – 4+839.00 al 70% con una lunghezza stimata di applicazione pari a L= 492.00 m.

Sono previsti i seguenti principali interventi:

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=24.00 m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m.
- ✓ consolidazione con 6/7 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro ed iniettati di lunghezza 10 m con passo 1.5 m da eseguire solo nella canna sx in direzione della destra fino alla progressiva 2+080.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

8.2 Sezione di avanzamento B2 – Sagoma 1

Tavola di riferimento: CA357_P00GN00OSTST03_A-


Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento B2 per il 30% dello sviluppo della Galleria una volta superate le zone detensionate di imbocco.

La sezione di avanzamento B2 associata alla sagoma interna di tipo 1 viene applicata nei tratti seguenti:

canna dx: **Pr. 4+131.00 – 4+839.00 al 30%** con una lunghezza stimata di applicazione pari a **L= 216.00** m.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=24.00 m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ preconsolidamento al fronte con 36 chiodi al fronte in vetroresina cementati in foro di 60 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=100 mm) L=21.00 m con sovrapposizione 9.00 m;
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato $sp=25$ cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m;
- ✓ consolidazione con 6/7 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro ed iniettati di lunghezza 10 m con passo 1.5 m da eseguire solo nella canna sx in direzione della destra fino alla progressiva 2+080.

Per il rivestimento definitivo sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

8.3 Sezione di avanzamento C1 – Sagoma 1

Tavola di riferimento: CA357_P00GN00OSTST05_A.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento C1 nelle zone detensionate di imbocco.


La sezione di avanzamento C1 associata alla sagoma interna di tipo 1 viene applicata nei tratti seguenti:

canna dx: Pr. 4+095.00 – 4+131.00 con una lunghezza di applicazione pari a $L= 36.00$ m

canna dx: Pr. 4+839.00 – 4+980.00 con una lunghezza di applicazione pari a $L= 141.00$ m

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento $L=24.00$ m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione $D=90$ mm);
- ✓ preconsolidamento al contorno del cavo con 38 tubi metallici acciaio S355 H di 114.3 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione $D=140$ mm), valvolati (1valv/m) e iniettati di $L=16.00$ m con sovrapposizione 4.00 m;
- ✓ preconsolidamento al fronte con 36 chiodi al fronte in vetroresina cementati in foro di 60 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione $D=100$ mm) $L=21.00$ m con sovrapposizione 9.00 m;
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.00 m;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte $sp=10$ cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 30% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato $sp=25$ cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.00 m.

Per il rivestimento definitivo sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente e longitudinalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta variabile tra 0.50 m e 1.30 m da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

8.4 Sezione di avanzamento Aa – Sagoma 1 (canna sx)

Tavola di riferimento: CA357_P00GN02OSTST02_A.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento Aa una volta superate le zone detensionate di imbocco.

La sezione di avanzamento Aa associata alla sagoma interna di tipo 1 viene applicata nei tratti seguenti:


canna sx: **Pr. 4+259.40 – 4+838.40** con una lunghezza stimata di applicazione pari a **L= 579.00** m.

Sono previsti i seguenti principali interventi:

Per il pre consolidamento e demolizione sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ Preconsolidamento al contorno del cavo con esecuzione 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 10 m in direzione della canna dx con passo 1.5 m e di 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 6 m in sinistra con passo 1.5.
- ✓ Demolizione per conci della galleria esistente.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=24.00 m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

8.5 Sezione di avanzamento Aa – Sagoma 3 (canna sx)

Tavola di riferimento: CA357_P00GN02OSTST02_A.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento Aa una volta superate le zone detensionate di imbocco.


La sezione di avanzamento Aa associata alla sagoma interna di tipo 3 viene applicata nei tratti seguenti:

canna sx: Pr. 4+184.40 – 4+259.40 con una lunghezza stimata di applicazione pari a L= 75.00 m.

Per il pre consolidamento e demolizione sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ Preconsolidamento al contorno del cavo con esecuzione 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 10 m in direzione della canna dx con passo 1.5 m e di 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 6 m in sinistra con passo 1.5.
- ✓ Demolizione per conci della galleria esistente.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=24.00 m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).
- ✓

8.6 Sezione di avanzamento Bb – Sagoma 1 (canna sx)

Tavola di riferimento: CA357_P00GN02OSTST01_A.

Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento Bb per le zone detensionate di imbocco.


La sezione di avanzamento Bb associata alla sagoma interna di tipo 1 viene applicata nei tratti seguenti:

canna sx: **Pr. 4+838,40 – 4+931,80** con una lunghezza stimata di applicazione pari a **L= 93,40** m.

Per il pre consolidamento e demolizione sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ Preconsolidamento al contorno del cavo con 38 tubi metallici acciaio S355 H di 114.3 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=140 mm), valvolati (1valv/m) e iniettati di L=16.00 m con sovrapposizione 4.00 m;
- ✓ Preconsolidamento al contorno del cavo con esecuzione 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 10 m in direzione della canna dx con passo 1.5 m e di 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 6 m in sinistra con passo 1.5.
- ✓ Demolizione per conci della galleria esistente.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=24.00 m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente e longitudinalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta variabile tra 0.60 m e 1.40 m da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

8.7 Sezione di avanzamento Bb – Sagoma 3 (canna sx)

Tavola di riferimento: CA357_P00GN02OSTST01_A.


Si prevede l'applicazione della sezione di avanzamento Bb per le zone detensionate di imbocco.

La sezione di avanzamento Bb associata alla sagoma interna di tipo 3 viene applicata nei tratti seguenti:

canna sx: **Pr. 4+124.40 – 4+184.40** con una lunghezza stimata di applicazione pari a **L= 60.00 m**.

- ✓ Preconsolidamento al contorno del cavo con 38 tubi metallici acciaio S355 H di 114.3 mm di diametro e 10 mm di spessore (perforazione D=140 mm), valvolati (1valv/m) e iniettati di L=16,00 m con sovrapposizione 4,00 m;
- ✓ Preconsolidamento al contorno del cavo con esecuzione 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 10 m in direzione della canna dx con passo 1.5 m e di 4/5 chiodi radiali in vetroresina cementati in foro valvolati ed iniettati (1valv/m) di lunghezza 6 m in sinistra con passo 1.5.
- ✓ Demolizione per conci della galleria esistente.

Per il rivestimento di prima fase sono previsti i seguenti principali interventi:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=24.00 m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m.

Per il rivestimento definitivo fase sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente e longitudinalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta variabile tra 0.60 m e 1.40 m da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

8.8 Sezione di avanzamento Bypass


Si prevede la realizzazione di tre (3) Bypass pedonali, uno ogni 300 m, alle seguenti progressive riferite alla canna dx:

GN02_BPP01 4+250.60
GN02_BPP02 4+550.60
GN02_BPP03 4+850.60

Tavola di riferimento: CA357_P00GN00OSTST09_A. (pedonale)


Per il rivestimento di prima fase dei Bypass pedonali sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=24.00 m con sovrapposizione 12.00 m di 60 mm di diametro e 4 mm di spessore (perforazione D=90 mm);
- ✓ scavo a piena sezione con sfondi di profondità massima di 1.20 m;
- ✓ spritz-beton fibrorinforzato al fronte sp=10 cm ogni fine campo e spessore 5 cm sul 10% degli sfondi;
- ✓ rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato sp=25 cm e da centine metalliche 2IPN180 con passo 1.20 m.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Per il rivestimento definitivo dei Bypass pedonali sono previsti i seguenti principali interventi:

- ✓ getto dell'arco rovescio armato i 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ getto delle murette armate da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 36.0 m (circa 3 diametri);
- ✓ impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- ✓ -rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo armato, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.70 m eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 72.0 m (circa 6 diametri).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

9 ANALISI TENSIONALI E DEFORMATIVA DELLE GALLERIE

9.1 Metodologia di calcolo

La successione delle fasi esecutive, lo stato tensionale e deformativo indotto nell'ammasso dallo scavo della galleria e le sollecitazioni risultanti sui rivestimenti di prima fase e sui rivestimenti definitivi per le differenti fasi di maturazione sono state analizzate con il metodo agli elementi finiti, utilizzando il codice di calcolo **RS2 di Rocscience**.

Il programma consente di studiare problemi di ingegneria geotecnica in condizioni di deformazione piana o assialsimmetrica, riproducendo la storia di carico del terreno e dei sostegni, e fornendo al termine di ogni fase di carico il quadro tensio-deformativo nell'ammasso e negli elementi di sostegno.


Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piana modellando l'effetto della distanza dal fronte con le curve di deconfinamento.

Per il terreno è stato assunto un modello costitutivo elasto-plastico perfetto con **criterio di resistenza di Hoek Brown generalizzato**.

Nelle analisi numeriche condotte, lo scavo viene simulato grazie all'impiego delle "**forze di scavo**", ovvero riducendo progressivamente un sistema di forze applicate in direzione radiale al profilo di scavo, atte a simulare il concetto di "effetto fronte". In tal modo è possibile simulare il progressivo incremento dei carichi sulle strutture di rivestimento di prima e seconda fase con il progredire degli avanzamenti.

La riduzione è svolta sulla base delle raccomandazioni dell'AFTES (cfr. Recommendation for use of convergence confinement method) che consente di valutare la variazione del tasso di confinamento $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_\theta$ in funzione della distanza della sezione in esame dal fronte di scavo.

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase e definitivi sono state eseguite allo SLU secondo la Combinazione A1+M1+R1, in cui i parametri di resistenza dell'ammasso sono quelli caratteristici (coefficienti parziali del gruppo M1), mentre i coefficienti parziali amplificativi delle azioni (A1) sono applicati direttamente alle sollecitazioni in output al modello di calcolo.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

9.2 Taratura del modello

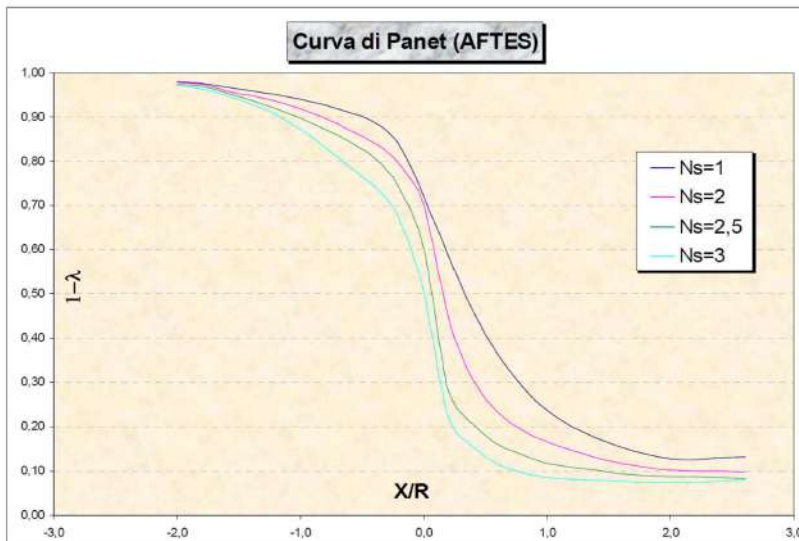
La simulazione dello scavo avviene mediante il progressivo annullamento delle forze interne al profilo di scavo, fino al loro completo rilassamento; gli step di rilassamento vengono operati in funzione della distanza dal fronte della sezione considerata nell'analisi, mediante l'impiego delle curve di Panet. La scelta della curva di Panet da utilizzare è stata condotta considerando il numero di stabilità N_s .

$$N = \frac{2 \times p_0}{\sigma_{cm}}$$

essendo:

p_0 pressione geostatica

σ_{cm} resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso.



Per determinare il fattore di rilassamento associato all'installazione dei rivestimenti di prima fase si sono usate le linee caratteristiche imponendo che la convergenza finale del cavo e dei rivestimenti sia la stessa. Il valore ottenuto è stato di $\lambda=0.7$.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500



CA357

Relazione di calcolo

Rivestimento

Spritz-beton

Spessore	c	m	0,25
Resistenza caratteristica di calcolo	f _{cd}	Mpa	15,9
Modulo elastico equivalente	E _s	Mpa	20000
Modulo di Poisson	ν _s		0,2
Durezza	ks	kPa	825409
Pressione di sostegno a rottura	sru	kPa	629

Cantina

Numero centine al metro lineare	nc		1,66667
Tipo			IPN180
Area			0,0028
Tensione di rottura	f _{tk}	Mpa	261,9
Modulo elastico	E _s	Mpa	210000
Durezza	ks	kPa	124724
Pressione di sostegno a rottura	sru	kPa	193

Rivestimento complessivo

Rigidità	Kt	kPa	980164
Fattore alpha - Nuova Metodo Implicito	αl		2,45
Pressione massima di sostegno	p _{max}	kPa	822
distanza di applicazione del fronte	d	m	1,20
convergenza all' appl. del rivestimento	U _i	m	0,027
Spostamento corrispondente a p _{max}	U _{max}	m	0,032

Risultati

Pressione di equilibrio	kPa	377,0
Convergenza rivestimento	m	0,029
Convergenza dall'applicazione	m	0,026
Tensione circonferenziale spritz	Mpa	8,0
Coefficiente di sicurezza a rottura	F _{Sr}	2,0

Tensione circonferenziale acciaio	kPa	80,8
Coefficiente di sicurezza a rottura	F _{Sa}	3,2

Terreno

λ	1-λ	pr (MPa)	status	rd/r	rd (m)	Ur (m)
0,7	0,29	0,377	P	2,288	14,44	0,029

Rivestimento

p (kPa)	U (m)
377,0	0,029

Dif
0,000

Condizioni di equilibrio

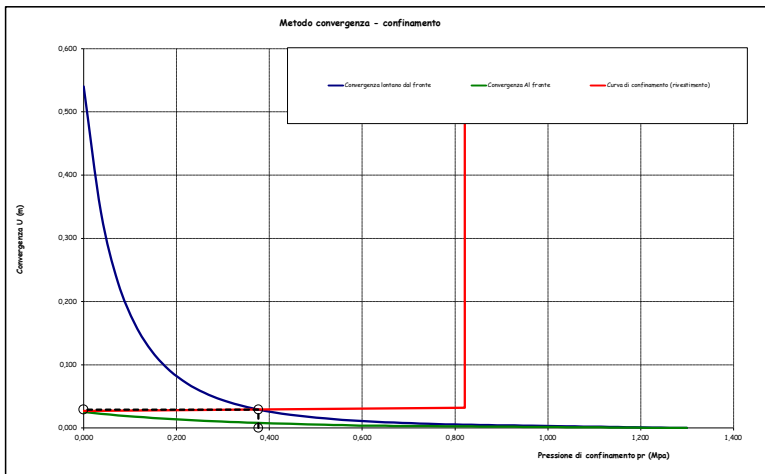
p (kPa)	U (m)
0,377	0
0,377	0,029
0	0,029

Curve caratteristiche del rivestimento

p (kPa)	U (m)
0	0,027
0,822	0,032
0,822	0,040

LAVORO: GALLERIA PALA SOLIANA - SCAVI IN MARNE

ANALISI DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE - METODO CONVERGENZA CONFINAMENTO



DATI		
Geometria		
d	m	6,31
c'	m	65,0
Parametri geotecnici		
γ	MN/m ³	0,0200
sp	(°)	16
cp	Mpa	0,027
sr	(°)	16
cr	Mpa	0,027
E	Mpa	750
ν	(°)	0,3
ν'	(°)	0
Stato di sforzo iniziale		
σ ₀	Mpa	1,00
σ ₀ G	Mpa	1,30
Consolidamento al fronte		
Nelamenti		38
Letem	m	9,0
RISULTATI		
Al Fronte		
U _{fs}	m	0,025
U _i	m	0,027
Cond. Equilibrio		
pr _{iv}	kPa	377
U _{riv}	m	0,029
ns	%	0,5
Req α	m	8,1
Spritz-beton		
f _{cd}	Mpa	15,9
f _{max}	Mpa	8,0
F _S		2,0
Acciaio		
f _{yd}	Mpa	262
f _{max}	Mpa	80,8
F _S		3,2


9.3 Sezioni di calcolo

Per la galleria Chighizzu si verificano le seguenti sezioni di calcolo con progressive riferite all'asse destro:

- ✓ Pr. 4+240 sezione a massima copertura. Si considerano i valori caratteristici minimi dell'ammasso e sezioni tipo Aa-3 in sx e B2-1 in dx.
- ✓ Pr. 4+240 sezione a massima copertura. Si considerano i valori caratteristici medi dell'ammasso e sezioni tipo Aa-3 in sx e B0-1 in dx.
- ✓ Pr. 4+131 sezione di imbocco. Si considerano i valori caratteristici minimi dell'ammasso (zona detensionata) e sezioni tipo Bb-3 in sx e C1-1 in dx.

9.4 Fasi di calcolo

L'analisi è stata organizzata in sedici successive fasi di calcolo che consentono la simulazione dei vari interventi costruttivi e la schematizzazione di diverse condizioni di carico per il prerivestimento e per il

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

rivestimento definitivo; le prime sei fasi di calcolo sono riferite alla simulazione della costruzione della canna sinistra, le rimanenti fasi si riferiscono alla simulazione della costruzione della canna destra.

In allegato sono riportati gli output del software di calcolo. Dall'esame di tali allegati è possibile ricavare lo stato tensionale e deformativo dell'ammasso interessato allo scavo, nonché dei rivestimenti della galleria. I risultati tensionali riportati negli allegati grafici sono descritti in termini di tensioni e sollecitazioni, espresse rispettivamente in MPa e MN proporzionalmente ad una scala graduata. Le sollecitazioni ritenute rappresentative ai fini delle verifiche statiche sono pertanto segnalate nel seguito.

FASE 1 – Geostatico

In questa fase di calcolo viene applicato il peso proprio del terreno, ovvero viene ricostruita in termini di sforzi e deformazioni la situazione iniziale preesistente alla costruzione delle gallerie.

FASE 2 – Scavo e rilassamento iniziale

Questa fase corrisponde alla sezione della galleria in prossimità del fronte, immediatamente prima dell'installazione del rivestimento di prima fase. Si effettua lo scavo, secondo quanto descritto in precedenza, riducendo le forze di scavo del **60%**.

FASE 3 - Avanzamento degli scavi e rivestimento di prima fase su canna dx

Viene simulato la realizzazione dei rivestimenti di prima fase. La distanza fronte di scavo sezione di calcolo è pari a 1.00/1.20 m.

Si riducono le forze di scavo del **65%**.

FASE 4 - Avanzamento degli scavi e prima maturazione dello spritz-beton su canna dx

Viene simulato l'avanzamento degli scavi fino ad una distanza, fronte di scavo sezione di calcolo, pari a $\varnothing/2$ (\varnothing = diametro galleria); le forze di scavo vengono ridotte del **70%**.


FASE 5 – Getto delle murette e dell'arco rovescio e avanzamento scavi su canna dx

Viene simulato il getto dell'arco rovescio e delle murette ad una distanza, fronte di scavo sezione di calcolo, pari a $2\varnothing$ (\varnothing = diametro della galleria); la riduzione delle forze di scavo è pari al **90%**.

FASE 6 – Getto della calotta e maturazione dell'arco rovescio su canna dx

Viene simulato il getto della calotta assumendo come modulo elastico del calcestruzzo un valore pari a 15 GPa, corrispondente a quello di un getto con maturazione parziale. Il modulo elastico dell'arco rovescio è assunto pari a $E=33$ GPa; si effettua una riduzione delle forze di scavo del **98%**

FASE 7 – Maturazione della calotta su canna dx

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

In questa time di calcolo viene simulata la completa maturazione della calotta assumendo un modulo elastico $E=33$ GPa; le forze di scavo vengono ridotte del 100%.

FASE 8: Preconsolidamento su canna sx

In questi fasi si simula il preconsolidamento radiale con i VTR aumentano aumentando localmente il modulo elastico dell'ammasso nell'area trattata.

FASE 9: Demolizione rivestimento definitivo esistente e scavo su canna sx

In queta fase di calcolo si simula la demolizione del rivestimento definitivo della canna esistente e lo scavo dell'ammasso roccioso.

Si riducono le forze di scavo del 30%.

FASE 10 – 14: Simulazione costruzione canna destra

In questi fasi di calcolo si ripercorrono, per la canna sinistra, le identiche fasi di calcolo descritte in precedenza per la simulazione della scavo della canna destra.

FASE 15 – Decadimento del prerivestimento

In questa fase di calcolo viene simulata la situazione di lungo termine annullando il contributo resistente del rivestimento di prima fase.

FASE 16 – Applicazione del battente idraulico**

Si ipotizza che il drenaggio al contorno delle gallerie e le caratteristiche di permeabilità dell'ammasso siano tali da indurre, a regime, un andamento pseudostatico della falda tale raggiungere una altezza d'acqua, in corrispondenza della calotta. Pertanto, in questa ultima fase di calcolo è stato applicato al contorno delle gallerie un sistema di forze equivalenti ad un battente d'acqua, sopra la calotta pari a 5 m.

**Fase non utilizzata per le sezioni di imbocco.

Nella seguente tabella si riportano i valori di progetto dei rivestimenti assunti nelle varie fasi di calcolo.


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500



CA357

Relazione di calcolo

1- A	var	unità	valori finali	fase1	fase 2	fase 3	fase 4	fase 5	fase 6	fase 7	fase 8	fase 8
				GEOSTATICA	Riduzione forze di scavo	Installazione Riv.Prima fase	maturazione spritz	Arco rovescio e murette	Calotta-maturazione arco	maturazione calotta	Lungo Termine	carico idraulico
				0	40	35	30	10	2	0	0	0
Rivestimenti di 1° fase												
	spessore spritz-beton	ss	m	0,25		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Modulo di elasticità spritz-beton	Es	Mpa	32308		10000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
	Area spritz-beton	As	m ²	0,25		0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Momento d'inerzia spritz-beton	Is	m ⁴	0,00130		0,00130	0,00130	0,00130	0,00130	0,00130	0,00130	0,00130
	numero di centine per metro lineare	nc		1,67		1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
	Profilo centine	Pc		IPN180		IPN180	IPN180	IPN180	IPN180	IPN180	IPN180	IPN180
	Altezza profilo centine	hc	m	0,180		0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
	Area singola centine	Ac	m ²	0,00279		0,00279	0,00279	0,00279	0,00279	0,00279	0,00279	0,00279
	Momento d'inerzia singola centina	Ic	m ⁴	0,00001444		0,00001444	0,00001444	0,00001444	0,00001444	0,00001444	0,00001444	0,00001444
	Modulo di elasticità acciaio	Ea	Mpa	210000		210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000
	Area centine	Actot	m ²	0,00465		0,00465	0,00465	0,00465	0,00465	0,00465	0,00465	0,00465
	Momento d'inerzia centine	Iactot	m ⁴	2,40667E-05		2,40667E-05	2,40667E-05	2,40667E-05	2,40667E-05	2,40667E-05	2,40667E-05	2,40667E-05
	Modulo di elasticità equivalente rivestimento 1° fase *	E1	Mpa	32308		10000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
	Modulo di poisson rivestimento di prima fase	n1		0,20		0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	Area elementi beam rivestimento 1° fase	A1	m ²	0,280		0,348	0,299	0,299	0,299	0,299	0,299	0,299
	Momento d'inerzia elementi beam rivestimento di 1° fase	I1	m ⁴	0,001458815		0,001807483	0,001554783	0,001554783	0,001554783	0,001554783	0,001554783	0,001554783
	Peso specifico rivestimento di 1° fase	γt	kN/m ³	25		25	25	25	25	25	25	25
	Resistenza a compressione spritz-beton	fcd	Mpa	15,87		7,60	15,87	15,87	15,87	15,87	15,87	15,87
	Resistenza a trazione spritz-beton	fctd	Mpa	1,29		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Resistenza di calcolo centine	fyd	Mpa	261,90		261,90	261,90	261,90	261,90	261,90	261,90	261,90
Rivestimenti di 2° fase												
	Modulo di elasticità rivestimento definitivo	E2	Mpa	33346		0,441		15000	33346	33346	33346	33346
	Modulo di poisson rivestimento definitivo	n1		0,20				0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	peso specifico rivestimento definitivo	γ2	kN/m ³	24				24	24	24	24	24
	spessore di reti	sd2	m	var				var	var	var	var	var
	spessore in arco rovescio	sd3	m	0,70				0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	Resistenza a compressione cls	fcd	Mpa	18,13				10,00	18,13	18,13	18,13	18,13
	Resistenza a trazione cls	fctd	Mpa	1,41				1,00	1,41	1,41	1,41	1,41
	Resistenza di calcolo barre	fyd	Mpa	391,30				391,30	391,30	391,30	391,30	391,30
	Modulo di elasticità rivestimento definitivo	E2	Mpa	33346			0,552		15000	33346	33346	33346
	Modulo di poisson rivestimento definitivo	n1		0,20			0,450		0,20	0,20	0,20	0,20
	peso specifico rivestimento definitivo	γ2	kN/m ³	24			0,71		24	24	24	24
	spessore in calotta	sd1	m	var					var	var	var	var
	Resistenza a compressione cls	fcd	Mpa	18,13					10,00	18,13	18,13	18,13
	Resistenza a trazione cls	fctd	Mpa	1,41					1,00	1,41	1,41	1,41
	Resistenza di calcolo barre	fyd	Mpa	391,30					391,30	391,30	391,30	391,30


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Gli spessori dei rivestimenti definitivi considerati sono riportati nella tabella seguente in funzione della sezione tipo:

SPESSORI RIVESTIMENTI DEFINITIVI			
Sezione tipo	arco rovescio	pedritti	calotta
	(cm)	(cm)	(cm)
B0	70	80	60
B2	70	80	60
C1	70	70-150	50-130
Bypass pedonale	70	70	70
Aa	70	80	60
Bb	70	80-160	60-140

A continuazione si riportano le verifiche statiche dei rivestimenti di prima fase e definitivi per le sezioni di calcolo individuate.

In allegato si riportano gli output del software di calcolo.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

10 VERIFICHE STRUTTURALI RIVESTIMENTI SEZIONI TIPO

10.1 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al Cap. 2 delle NTC.

Gli stati limite ultimi delle opere interrate si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

I carichi sono denominati:

- G_k valore caratteristico del carico permanente, costituito dai pesi propri e dalla pressione del terreno;
- Q_k valore caratteristico di carichi accidentali di tipo stradale.
- E azione sismica

Le verifiche dei rivestimenti provvisori sono effettuate per i soli SLU.

Le verifiche dei rivestimenti definitivi sono tutte effettuate nei riguardi degli stati limite ultimi SLU, sismici SLV e di esercizio SLE.

Gli stati limite introducono dei coefficienti moltiplicativi γ sulle azioni di calcolo, generalmente maggiori dell'unità.

Parimenti per le resistenze dei materiali si introducono dei coefficienti riduttivi applicati alle resistenze dei materiali

- Combinazione fondamentale agli SLU:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$


- Combinazioni agli SLE:

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/stato tensionale) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente} \quad \Rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

- Combinazione agli SLV:

$$E + G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

10.2 Azioni sismiche

Si considera che un eventuale sollecitazione sismica generi sforzi esclusivamente nel rivestimento definitivo. Il contributo del sostegno provvisorio non viene considerato.

I parametri sismici fondamentali sono stati determinati per la regione Sardegna utilizzando la Tabella 2, in allegato alle NTC. Si ottengono i seguenti valori:

TUTTE LE OPERE


Vita Nominale	$V_N =$	50	anni
Classe d'uso	$Cl =$	IV	
Coefficiente d'uso	$C.u. =$	2.0	
Periodo di riferimento	$V_R =$	100	anni

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_C [s]
SLO	60	0.026	2.685	0.300
SLD	101	0.032	2.729	0.307
SLV	949	0.061	2.976	0.371
SLC	1950	0.072	3.061	0.393

Nel sito di interesse l'accelerazione massima raggiunge in accordo alle NTC2018 per gli SLV:

$$a_g = PGA = 0.061 \text{ g.}$$

Secondo la tabella seguente, considerando materiale in roccia, con V_s maggiori di 750m/s, una magnitudo $M_w=6.5$ e una distanza della sorgente di 20 - 50km, si ottiene una velocità di picco di $PGV=4,6 \text{ cm/s}$.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Ratios of peak ground velocity to peak ground acceleration at surface in rock and soil (after Power et al., 1996)

Moment magnitude (M_w)	Ratio of peak ground velocity (cm/s) to peak ground acceleration (g)		
	Source-to-site distance (km)		
	0-20	20-50	50-100
<i>Rock^a</i>			
6.5	66	76	86
7.5	97	109	97
8.5	127	140	152
<i>Stiff soil^a</i>			
6.5	94	102	109
7.5	140	127	155
8.5	180	188	193
<i>Soft soil^a</i>			
6.5	140	132	142
7.5	208	165	201
8.5	269	244	251

^aIn this table, the sediment types represent the following shear wave velocity ranges: rock ≥ 750 m/s; stiff soil is 200-750 m/s; and soft soil < 200 m/s. The relationship between peak ground velocity and peak ground acceleration is less certain in soft soils.

Tabella: Correlazione tra velocità PGV e accelerazione PGA.

Il calcolo non considera l'effetto favorevole della profondità sull'azione sismica onde verificare i casi più critici.

La distorsione $\gamma_{s,max}$ risulta del rapporto tra la velocità apparente delle particelle dell'onda e la velocità di propagazione C_s dell'onda sismica:


$$\gamma_{s,max} = \frac{PGV}{C_s} = \frac{PGV}{\sqrt{G_m/\rho}}$$

Nella tabella seguente sono riassunti i valori di $\gamma_{s,max}$.

Materiale	γ [kN/m ³]	E [GPa]	ν [-]	PGV/PGA	PGV [cm/sec]	G_m [GPa]	C_s [m/s]	$\gamma_{s,max}$ [-]
Marne	20	2,922	0,3	76	4,636	1,1238462	742	6,24E-05

Tabella: Parametri sismici.

γ peso specifico [kN/m³]
 E_m modulo elastico dell'ammasso [GPa]

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

ν_m	coefficiente di Poisson
G_m	modulo a taglio
C_s	velocità di propagazione dell'onda sismica
γ_{smax}	distorsione sismica

Per la determinazione dei carichi sismici sono state considerate le seguenti caratteristiche del rivestimento definitivo:

$E_{riv.} =$	31GPa
$\nu_{riv.} =$	0.20
$t_{riv.} =$	0.7m
Diametro equivalente = 12.9m	

Considerando un'aderenza perfetta tra roccia e rivestimento, si ha:

$$\alpha^n = \frac{24 \cdot E \cdot I \cdot (3 - 4 \cdot \nu_m)}{d^3 \cdot G_m \cdot (1 - \nu_i^2)}$$

Azione assiale $T(\theta) = -\frac{24 \cdot E \cdot I \cdot \Delta d_{lining}^n}{d^3 \cdot (1 - \nu_i^2)} \cdot \cos^2\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)$

Momento flettente $M(\theta) = -\frac{6 \cdot E \cdot I \cdot \Delta d_{lining}^n}{d^2 \cdot (1 - \nu_i^2)} \cdot \cos^2\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)$

Azione di taglio $V(\theta) = -\frac{24 \cdot E \cdot I \cdot \Delta d_{lining}^n}{d^3 \cdot (1 - \nu_i^2)} \cdot \sin^2\left(\theta + \frac{\pi}{4}\right)$

Le sollecitazioni sismiche così calcolate sono riassunte nella tabella seguente.

Materiale	α_n	R_n	Δd_{lining}	T_{max} [kN]	V_{max} [kN]	M_{max} [kNm]
Calcestruzzo	0,01036	2,77129	0,00112	7,2	7,2	23,4

Tabella: Sforzi sismici in caso di aderenza tra suolo e rivestimento in muratura.

10.3 Sezioni di verifica

Per il rivestimento di prima fase si riportano le verifiche a tutti i nodi.

Le sezioni di verifica sono per il rivestimento definitivo:

- ✓ Sezione 1 chiave calotta;
- ✓ Sezione 2 calotta a 45 gradi;
- ✓ Sezione 3 piano dei centri;
- ✓ Sezione 4 piedritto - muretta;
- ✓ Sezione 5 muretta – arco rovescio;
- ✓ Sezione 6 chiave arco rovescio.

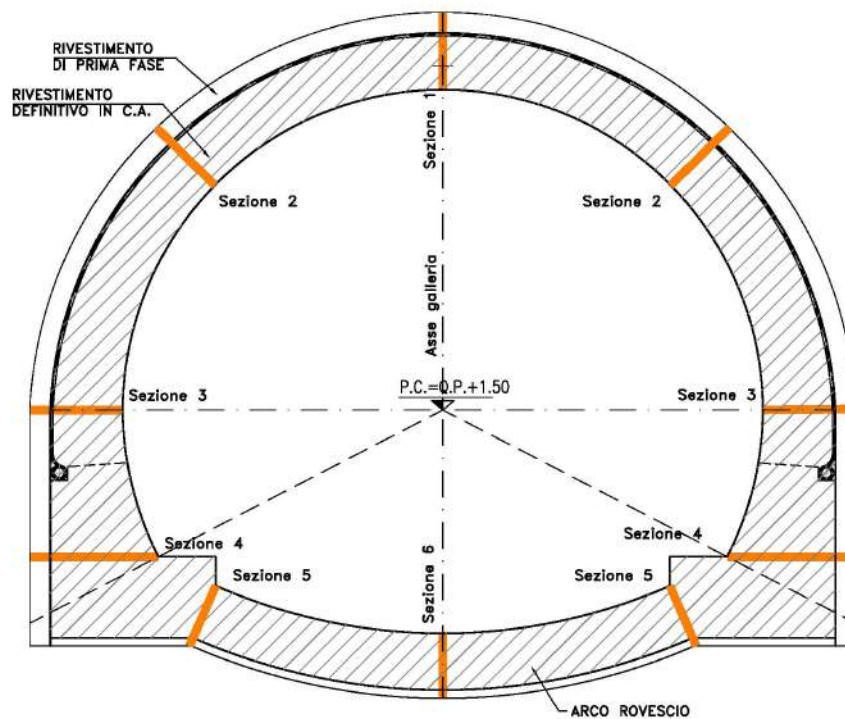


Figura: Sezioni di verifica dei rivestimenti.

Per la verifica dei rivestimenti definitivi armati si è utilizzato il codice di calcolo RC SEC distribuito dalla GeoStru.

10.4 Verifiche sezioni tipo

A continuazione si riportano le verifiche dei rivestimenti di prima fase e dei rivestimenti definitivi.

Le azioni considerate per gli stati limite ultimi (SLU) sono quelle di output del software amplificate per 1,3 come previsto dalle NTC2018.

10.4.1 Sezioni B0 e B2

Le due sezioni tipo sono identiche come rivestimenti di prima fase e definitivi, differiscono solo per la presenza di preconsolidamenti al fronte (VTR) che non entrano in questa analisi.

La sezione di analisi dove si massimizzano le azioni sui rivestimenti associati a queste sezioni tipo è quella a massima copertura con valori caratteristici minimi dell'ammasso (Pr. 4+240 – valori minimi) canna dx.

10.4.1.1 Verifica rivestimenti di prima fase

Si riportano i domini di resistenza del rivestimento di prima fase nella canna destra:

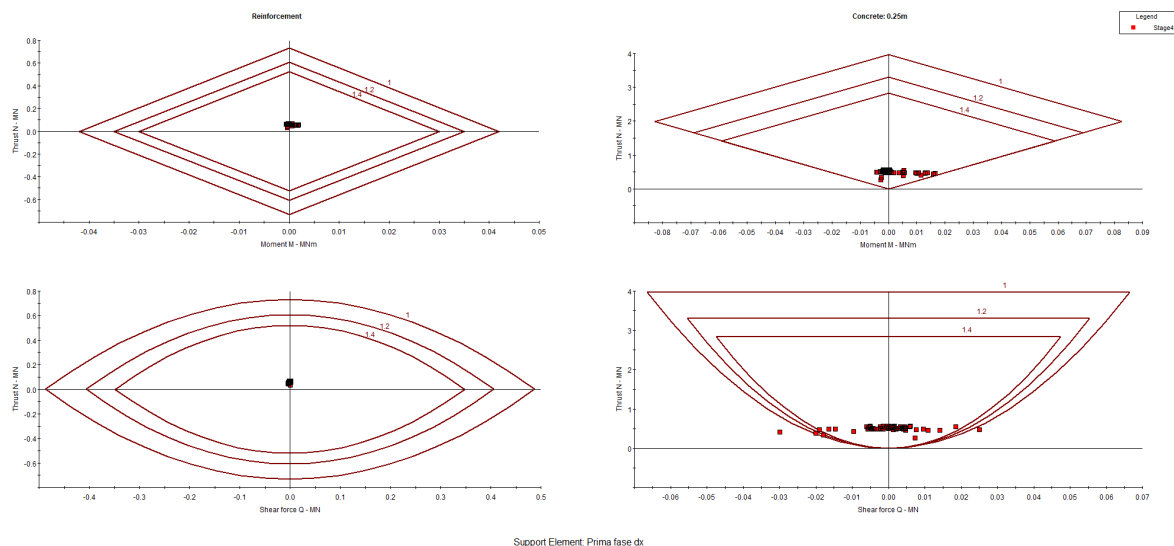



Figura: Dominio di resistenza rivestimento di prima fase canna dx.

10.4.1.2 Verifica rivestimenti definitivi

Le azioni sui rivestimenti nelle sezioni di verifica sono i seguenti:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Galleria	Sezione tipo	Sezione di verifica	Spessori minimi	Da software			
				T (MN)	N (MN)	M (MNm)	
Chighizzu	B0/B2	Chiave calotta	NON ARMATO	0,70	-0,05	3,20	0,00
		45 deg	NON ARMATO	0,70	-0,02	3,93	0,00
		Piano dei centri	NON ARMATO	0,70	0,02	4,00	0,24
		Piedritto - muretta	ARMATO	1,30	2,18	4,04	-1,69
		Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	-2,05	4,35	0,77
		Chiave arco rovescio	NON ARMATO	0,70	-0,02	4,96	0,72

Sezione di verifica		SLU Amplificato x1,3			SLV Sisma			SLE		
		T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)
Chiave calotta	NON ARMATO	-65,00	4160,00	3,77	-42,80	3207,20	26,30	-50,00	3200,00	2,90
45 deg	NON ARMATO	-26,00	5109,00	-5,85	-12,80	3937,20	18,90	-20,00	3930,00	-4,50
Piano dei centri	NON ARMATO	26,00	5200,00	312,00	27,20	4007,20	263,40	20,00	4000,00	240,00
Piedritto - muretta	ARMATO	2834,00	5252,00	-2197,00	2187,20	4047,20	-1666,60	2180,00	4040,00	-1690,00
Muretta - arco rovescio	ARMATO	-2665,00	5655,00	1001,00	-2042,80	4357,20	793,40	-2050,00	4350,00	770,00
Chiave arco rovescio	NON ARMATO	-19,50	6448,00	936,00	-7,80	4967,20	743,40	-15,00	4960,00	720,00

Per le verifiche si considera quanto indicato al paragrafo 4.1.11 per il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura o non armato:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x [4.1.50]$$

$$\text{con } x = a - 2e.$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctid} + \sigma_c f_{ctid}} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{clim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctid} + \sigma_c f_{ctid} - \delta^2 / 4} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{clim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

$$\delta = \sigma_c - \sigma_{clim}$$

$$\sigma_{clim} = f_{cd} - 2 \sqrt{f_{ctid} + f_{cd} f_{ctid}}$$

dove

$$f_{ctid} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.


Seguono le verifiche sulle sezioni non armate agli SLU:

SEZIONI IN CLS NON ARMATO SLU

	B	H	e		N_{Rd}	N_{Ed}	Verifica
	m	m	m		MN	MN	
Chiave calotta	1,00	0,60	0,00	Sezione int. Reagente	10,88	4,16	OK
45 deg	1,00	0,60	0,00	Sezione int. Reagente	10,88	5,11	OK
Piano dei centri	1,00	0,60	0,06	Sezione int. Reagente	10,76	5,20	OK
Chiave arco rovescio	1,00	0,70	0,15	Sezione parzializzata	12,40	6,45	OK

SEZIONI IN CLS NON ARMATO SLU

	B	H	e	σ_c	δ	V_{Rd}	V_{Ed}	Verifica
	m	m	m			MN	MN	
Chiave calotta	1,00	0,60	0,00	6,95E+00	-1,55E+00	1,25	-0,07	OK
45 deg	1,00	0,60	0,00	8,55E+00	4,37E-02	1,36	-0,03	OK
Piano dei centri	1,00	0,60	0,06	1,08E+01	2,33E+00	1,22	0,03	OK
Chiave arco rovescio	1,00	0,70	0,15	1,57E+01	7,24E+00	1,23	-0,02	OK

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Seguono le verifiche sulle sezioni non armate agli SLV:

SEZIONI IN CLS NON ARMATO SLV

	B	H	e		N _{Rd}	N _{Ed}	Verifica
	m	m	m		MN	MN	
Chiave calotta	1,00	0,60	0,01	Sezione int. Reagente	10,86	3,21	OK
45 deg	1,00	0,60	0,00	Sezione int. Reagente	10,87	3,94	OK
Piano dei centri	1,00	0,60	0,07	Sezione int. Reagente	10,75	4,01	OK
Chiave arco rovescio	1,00	0,70	0,15	Sezione parzializzata	12,39	4,97	OK

SEZIONI IN CLS NON ARMATO SLV

	B	H	e	σ_c	δ	V _{Rd}	V _{Ed}	Verifica
	m	m	m			MN	MN	
Chiave calotta	1,00	0,60	0,01	5,50E+00	-3,01E+00	1,10	-0,04	OK
45 deg	1,00	0,60	0,00	6,67E+00	-1,84E+00	1,21	-0,01	OK
Piano dei centri	1,00	0,60	0,07	8,55E+00	4,86E-02	1,07	0,03	OK
Chiave arco rovescio	1,00	0,70	0,15	1,24E+01	3,89E+00	1,08	-0,01	OK

Seguono verifiche sulle sezioni non armate allo SLE:

SEZIONI IN CLS NON ARMATO SLE

	B	H	e		N _{Rd}	N _{Ed}	Verifica
	m	m	m		MN	MN	
Chiave calotta	1,00	0,60	0,00	Sezione int. Reagente	8,64	3,20	OK
45 deg	1,00	0,60	0,00	Sezione int. Reagente	8,64	3,93	OK
Piano dei centri	1,00	0,60	0,06	Sezione int. Reagente	8,52	4,00	OK
Chiave arco rovescio	1,00	0,70	0,15	Sezione parzializzata	9,79	4,96	OK

A continuazione si riportano le verifiche a pressoflessione (SLU+SLV+SLE) per le due sezioni armate di verifica effettuate con il software RC-SEC:

10.4.1.2.1 Sezione 4 piedritto – muretta


NOME SEZIONE: Sez 4 - Piedritto-Muretta

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chigizzu\B\Sez 4 - Piedritto-Muretta.sez)

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Moderat. aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C32/40
 Resis. compr. di calcolo fcd: 18.810 MPa
 Def.unit. max resistenza ec2: 0.0020
 Def.unit. ultima ecu: 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz.: Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec: 33643.0 MPa
 Resis. media a trazione fctm: 3.100 MPa
 Coeff. Omogen. S.L.E.: 15.00
 Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: 0.00 Mpa

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: 0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	130.0
3	50.0	130.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	123.2	24
3	43.2	123.2	24
4	43.2	6.8	24


DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	5252.00	-2197.00	0.00	0.00	0.00
2	4047.20	-1666.60	0.00	0.00	0.00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	4190.00	-900.00 (625.90)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	5252.00	-3392.73	0.00	5251.98	-3690.51	0.00	1.680	-----
2	S	4047.20	-2922.45	0.00	4047.14	-3213.43	0.00	1.928	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO


ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00215	-50.0	0.0	0.00281	-43.2	6.8	-0.00900	-43.2	123.2
2	0.00350	-0.00384	-50.0	0.0	0.00260	-43.2	6.8	-0.01272	-43.2	123.2

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
--------	---	---	---	-----	--------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1	0.000000000	-0.000101480	0.003500000	----	----
2	0.000000000	-0.000131691	0.003500000	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	5.90	-50.0	0.0	7.8	21.6	123.2	----	----	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm Esito della verifica
S1	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.2	0	----	----	----	----	----	----	----	625.90	0.00

10.4.1.2.2ione 5 muretta – arco rovescio

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.


SEZIONE: Sez 5 - Muretta-Arco rovescio

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05 OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\B\Sez 5 - Muretta-Arco rovescio.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2100000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	70.0
3	50.0	70.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE


N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	63.2	24
3	43.2	63.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			
N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	5655.00	1001.00	0.00	0.00	0.00
2	4357.20	793.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	2750.00	700.00 (597.99)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	5655.00	1592.53	0.00	5655.26	1604.85	0.00	1.603	-----
2	S	4357.20	1457.64	0.00	4357.33	1505.58	0.00	1.898	-----


METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.00067	-50.0	70.0	0.00286	-43.2	63.2	-0.00246	-43.2	6.8
2	0.00350	-0.00017	-50.0	70.0	0.00267	-43.2	63.2	-0.00423	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	


N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000094240	-0.003096788	----	----
2	0.000000000	0.000122314	-0.005061947	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	12.29	-50.0	70.0	-90.5	-43.2	6.8	1400	22.6	21.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-3.6	0	0.125	24	56	0.635	0.00027 (0.00017)	229	0.107 (0.20)	597.99	0.00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

10.4.1.2.3 Verifiche a taglio

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Dati	Var	unità	Piedritto - muretta	Muretta - arco rovescio
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	40	40
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	32	32
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1,50	1,50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0,85	0,85
Resistenza a compressione di calcolo	fcd	Mpa	18,1	18,1
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391,3	391,3
Caratteristiche geometriche sezione				
Altezza	H	m	1,30	1,00
Larghezza	B	m	1,00	1,00
Area calcestruzzo	Ac	m ²	1,30	1,00
Larghezza anima	bw	m	1,00	1,00
copriferro	c	m	0,068	0,068
altezza utile della sezione	d	m	1,23	0,93

Compressione agente nella sezione

Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	5,25E+03	5,66E+03
---------------------------	-----------------	----	----------	----------

Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio

Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sezione considerata				
	Asl	mmq	2260	2260
Coefficiente k	k	m	1,40	1,46
vmin	vmin		0,3	0,4
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_1		0,00183	0,00242
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	Mpa	3,63	3,63

Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	1044,4	831,0
----------------------------	-----------------------	-----------	---------------	--------------

Elementi con armature trasversali resistenti al taglio

Verifica del conglomerato

Resistenza a taglio del conglomerato	V _{Rcd}	kN	6702,1	5070,1
--------------------------------------	------------------	----	--------	--------

Verifica dell'armatura trasversale

diámetro staffe	fsw	mm	20	20
passo staffe	scp	m	0,20	0,20
numero di bracci	nb		2,5	2,5
Armatura a taglio (staffe)	Asw	mmq	785	785
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	deg	90	90
Inclinazione dei puntoni in cls rispetto all'asse della trave	θ	deg	21,8	21,8
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	kPa	4040	5655
coefficiente alpha	α_c		1,22	1,25
Resistenza a "taglio trazione"	V _{Rsd}	kN	4259,9	3222,6
Resistenza a "taglio compressione"	V _{Rcd}	kN	4238,7	3277,9

Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	4238,7	3222,6
----------------------------	-----------------------	-----------	---------------	---------------

Azione di calcolo	V	kN	2,83E+03	2,67E+03
Fattore di sicurezza	FS	-	1,5	1,2

10.4.2 Sezione tipo C1 (Sezione di calcolo 4+131 valori caratteristici minimi dx)

10.4.2.1 Verifica rivestimenti di prima fase

Si riportano i domini di resistenza del rivestimento di prima fase nella canna destra:

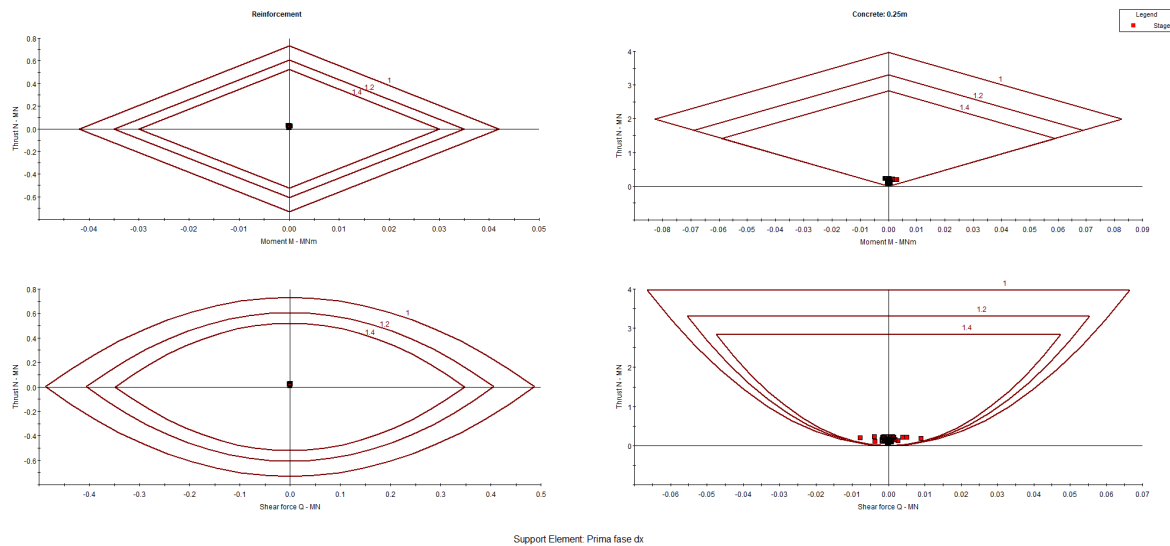



Figura: Dominio di resistenza rivestimento di prima fase canna dx.

10.4.2.2 Verifica rivestimenti definitivi

Le azioni sui rivestimenti nelle sezioni di verifica sono i seguenti:

Galleria	Sezione tipo	Sezione di verifica		Spessori minimi	Da software		
					T (MN)	N (MN)	M (MNm)
Chighizzu	C	Chiave calotta	ARMATO	1,30	0,00	1,80	1,76
		45 deg	ARMATO	1,30	-0,70	2,82	-0,70
		Piano dei centri	ARMATO	1,30	-1,33	5,05	-0,25
		Piedritto - muretta	ARMATO	2,02	0,60	3,13	0,72
		Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	0,21	0,05	0,62
		Chiave arco rovescio	ARMATO	0,70	0,04	0,20	-0,04

Sezione di verifica		SLU Amplificato x1,3			SLV Sisma			SLE		
		T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)
Chiave calotta	ARMATO	5,20	2340,00	2288,00	11,20	1807,20	1237,20	4,00	1800,00	1760,00
45 deg	ARMATO	-910,00	3666,00	-910,00	-692,80	2827,20	-676,60	-700,00	2820,00	-700,00
Piano dei centri	ARMATO	-1729,00	6565,00	-325,00	-1322,80	5057,20	-226,60	-1330,00	5050,00	-250,00
Piedritto - muretta	ARMATO	780,00	4069,00	936,00	607,20	3137,20	743,40	600,00	3130,00	720,00
Muretta - arco rovescio	ARMATO	273,00	65,00	806,00	217,20	57,20	643,40	210,00	50,00	620,00
Chiave arco rovescio	ARMATO	52,00	260,00	-52,00	47,20	207,20	-16,60	40,00	200,00	-40,00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

A continuazione si riportano le verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio per le sei sezioni di verifica:

10.4.2.2.1 Sezione 1 chiave calotta

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 1 - Chiave calotta

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05 OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\C\Sez 1 - Chiave calotta.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI


CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2100000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00		
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	130.0
3	50.0	130.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	123.2	24

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

3	43.2	123.2	24
4	43.2	6.8	24
5	-43.2	15.0	24
6	43.2	15.0	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24
3	5	6	8	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	2340.00	2288.00	0.00	0.00	0.00
2	1807.20	1237.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	1230.00	1270.00 (1573.53)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.8	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	2340.00	4688.51	-69.59	2339.80	5155.63	0.00	2.216	----
2	S	1807.20	4454.01	-53.74	1807.50	4921.42	0.00	3.853	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00373	-50.0	130.0	0.00262	43.2	123.2	-0.01248	-43.2	6.8
2	0.00350	-0.00480	-50.0	130.0	0.00249	43.2	123.2	-0.01485	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000129680	-0.013358338	----	----
2	0.000000000	0.000148977	-0.015866977	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1*Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	5.25	-50.0	130.0	-80.8	-14.4	6.8	2350	90.5	8.2	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. Esito della verifica
 S1 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
 k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata
 k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica
 Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Psi	= $1 - \text{Beta}12^*(\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12^*(\text{fctm}/\text{S}2)^2 = 1 - \text{Beta}12^*(\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-2.5	0	0.125	24	56	0.232 0.00015 (0.00015)	160	0.042 (0.20)	1573.53	0.00	

10.4.2.2 Sezione 2 calotta a 45 gradi

GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 2 - 45 gradi

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chigizzu\C\Sez 2 - 45 gradi.sez)


Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta1*\beta2$:	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta1*\beta2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	130.0
3	50.0	130.0
4	50.0	0.0

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	123.2	24
3	43.2	123.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24
3	0	0	8	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	3666.00	-910.00	0.00	0.00	0.00
2	2827.20	-676.60	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	3840.00	-1590.00 (-3413.86)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: -1.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: -2.4 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	3666.00	-3795.23	-114.74	3665.89	-4305.08	0.00	5.269	----
2	S	2827.20	-3425.80	-88.49	2826.95	-3836.45	0.00	6.373	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00969	-50.0	0.0	0.00350	0.0	0.0	-0.02568	-43.2	123.2
2	0.00350	-0.01313	-50.0	0.0	0.00350	0.0	0.0	-0.03328	-43.2	123.2

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000236829	0.003500000	----	----
2	0.000000000	-0.000298526	0.003500000	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	6.59	-50.0	0.0	-27.0	33.6	123.2	1650	45.2	9.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1 Esito della verifica
Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-1.4	0	0.125	24	56	-1.305	0.00005 (0.00005)	175	0.015 (0.20)	-3413.86	0.00

10.4.2.2.3 Sezione 3 piano dei centri

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 3 - Piano dei centri

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel05_OPERE MAGGIORI052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzo\C\Sez 3 - Piano dei centri.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2100000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta1 * \beta2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta1 * \beta2$:	0.50		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500



CA357

Relazione di calcolo

2	-50.0	130.0
3	50.0	130.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	123.2	24
3	43.2	123.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	6565.00	-325.00	0.00	0.00	0.00
2	5057.20	-226.60	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione


N°Comb.	N	Mx	My
1	6410.00	-2060.00 (-3524.91)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	6565.00	-3858.94	0.00	6564.70	-4120.04	0.00	12.677	-----
2	S	5057.20	-3319.24	0.00	5057.27	-3618.81	0.00	15.970	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00102	-50.0	0.0	0.00295	-43.2	6.8	-0.00650	-43.2	123.2
2	0.00350	-0.00237	-50.0	0.0	0.00278	-43.2	6.8	-0.00948	-43.2	123.2

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue


N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000081185	0.003500000	----	----
2	0.000000000	-0.000105378	0.003500000	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	11.52	-50.0	0.0	-27.9	21.6	123.2	1200	22.6	21.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} Esito della verifica
S1	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace A_c eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \beta_1 \cdot 12 * (S_{sr}/S_s)^2 = 1 - \beta_1 \cdot 12 * (f_{ctm}/S_2)^2 = 1 - \beta_1 \cdot 12 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * S_s/Es$ è tra parentesi
sm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e_{sm} * s_{rm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	sm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-1.8	0	0.125	24	56	-0.464	0.00005 (0.00005)	219	0.020 (0.20)	-3524.91	0.00

10.4.2.2.4 Sezione 4 piedritto – muretta

GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 4 - Piedritto-Muretta

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chigizzu\C\Sez 4 - Piedritto-Muretta.sez)


Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo f_{cd} :	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale E_c :	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. f_{yk} :		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura f_{tk} :		450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo f_{yd} :		391.30 MPa
Resist. ultima di calcolo f_{td} :		391.30 MPa
Deform. ultima di calcolo E_{pu} :		0.068
Modulo Elastico E_f :		2100000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 * \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
--------------------	------------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	202.0
3	50.0	202.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	195.2	24
3	43.2	195.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	8	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	4069.00	936.00	0.00	0.00	0.00
2	3137.20	743.40	0.00	0.00	0.00


COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	4770.00	1780.00 (885926.13)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	4069.00	4802.75	83.46	4069.03	5440.10	0.00	6.283	-----
2	S	3137.20	4136.69	64.34	3136.95	4637.13	0.00	6.734	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.01099	-50.0	202.0	0.00236	-43.2	195.2	-0.02918	-43.2	6.8
2	0.00350	-0.01698	-50.0	202.0	0.00189	-43.2	195.2	-0.04269	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA


a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000167398	-0.030314387	----	----
2	0.000000000	0.000236619	-0.044297101	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	--------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1 S 4.44 -50.0 202.0 2.1 -43.2 6.8 --- --- --- ---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}											
S1	Esito della verifica											
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata											
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata											
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata											
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica											
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace A_c eff											
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa											
e sm	= $1 - \beta_1^2 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \beta_1^2 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \beta_1^2 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]											
sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi											
wk	Distanza media tra le fessure [mm]											
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm$. Valore limite tra parentesi											
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]											
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]											

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	sm	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.0	0	---	---	---	---	---	---	---	885926.13	0.00

10.4.2.2.5 Sezione 5 muretta – arco rovescio

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.


NOME SEZIONE: Sez 5 - Muretta-Arco rovescio

(Percorso File: U:\ANASIAQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\C\Sez 5 - Muretta-Arco rovescio.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo f_{cd} :	18.810	MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu :	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale E_c :	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	3.100	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. f_{yk} :	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura f_{tk} :	450.00	MPa
	Resist. snerv. di calcolo f_{yd} :	391.30	MPa
	Resist. ultima di calcolo f_{td} :	391.30	MPa
	Deform. ultima di calcolo E_{pu} :	0.068	
	Modulo Elastico E_f :	2100000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 * \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50	

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	70.0
3	50.0	70.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	63.2	24
3	43.2	63.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE


N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			
N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	65.00	806.00	0.00	0.00	0.00
2	57.20	643.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	580.00	420.00 (428.40)	0.00 (0.00)

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	65.00	1017.03	0.00	64.76	1058.97	0.00	1.314	-----
2	S	57.20	1015.02	0.00	57.05	1056.79	0.00	1.643	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00924	-50.0	70.0	0.00061	-43.2	63.2	-0.02334	-43.2	6.8
2	0.00350	-0.00927	-50.0	70.0	0.00061	-43.2	63.2	-0.02339	-43.2	6.8


POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000424687	-0.026228108	----	----
2	0.000000000	0.000425539	-0.026287727	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure										
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2										
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	5.63	-50.0	70.0	-108.0	-33.6	6.8	2100	45.2	9.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm											
S1	Esito della verifica											
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata											
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata											
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata											
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica											
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff											
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa											
e sm	= $1 - \text{Beta}12 * (\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{fctm}/\text{S}2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]											
sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi											
wk	Distanza media tra le fessure [mm]											
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * \text{sm}$. Valore limite tra parentesi											
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]											
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]											
Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	sm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-3.0	0	0.125	24	56	0.480	0.00025 (0.00021)	187	0.078 (0.20)	428.40	0.00

10.4.2.2.6 Sezione 6 chiave arco rovescio

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.


NOME SEZIONE: Sez 6 - Mezzeria Arco rovescio

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\C\Sez 6 - Mezzeria Arco rovescio.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Modulo elastico E_f 2100000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	70.0
3	50.0	70.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	63.2	24
3	43.2	63.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione


N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx	My	Vy	Vx
N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x				
N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	260.00	-52.00	0.00	0.00	0.00
2	207.20	-16.60	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	550.00	20.00 (428.40)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.2	cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	260.00	-582.11	0.00	260.19	-614.11	0.00	11.810	-----
2	S	207.20	-567.98	0.00	206.91	-598.88	0.00	36.077	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.01133	-50.0	0.0	0.00014	-43.2	6.8	-0.02773	43.2	63.2
2	0.00350	-0.01162	-50.0	0.0	0.00007	-43.2	6.8	-0.02836	43.2	63.2


POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000494200	0.003500000	----	----
2	0.000000000	-0.000504158	0.003500000	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	0.92	-50.0	70.0	8.3	0.0	6.8	---	---	---	---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [SB.6.6 DM96]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
 Ver. Esito della verifica
 S1 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
 k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata
 k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
 Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 Psi = $1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
 e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
 srm Distanza media tra le fessure [mm]
 wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
 MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.5	0	---	---	---	---	---	---	---	428.40	0.00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500



CA357

Relazione di calcolo

10.4.2.2.7 Verifiche a taglio

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Dati	Var	unità	Chiave cabotta	45 deg	Piano dei centri	Piedritto - muretta	Muretta - arco rovescio	Chiave arco rovescio
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	40	40	40	40	40	40
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	32	32	32	32	32	32
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Resistenza a compressione di calcolo	fcd	Mpa	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450	450	450	450	450	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391,3	391,3	391,3	391,3	391,3	391,3
Caratteristiche geometriche sezione								
Altezza	H	m	1,30	1,30	1,30	2,02	0,70	0,70
Larghezza	B	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Area calcestruzzo	Ac	m ²	1,30	1,30	1,30	2,02	0,70	0,70
Larghezza anima copriferrò	bw	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
c	c	m	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
altezza utile della sezione	d	m	1,23	1,23	1,23	1,95	0,63	0,63
Compressione agente nella sezione								
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	2,34E+03	3,67E+03	6,57E+03	4,07E+03	6,50E+01	2,60E+02
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio								
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sezione considerata								
Asl	Asl	mmq	2260	2260	2260	2260	2260	2260
Coefficiente k	k	m	1,40	1,40	1,40	1,32	1,56	1,56
vmin	vmin		0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_l		0,00183	0,00183	0,00183	0,00116	0,00358	0,00358
tensione media di compressione nella sezione	ocp	Mpa	1,80	2,82	3,63	2,01	0,09	0,37
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	706,8	895,3	1044,4	1068,3	275,8	302,3
Elementi con armature trasversali resistenti al taglio								
<i>Verifica del conglomerato</i>								
Resistenza a taglio del conglomerato	V _{Rcd}	kN		6702,1	6702,1	10618,9	3438,1	
<i>Verifica dell'armatura trasversale</i>								
diametro staffe	fsw	mm		16	16		12	
passo staffe	scp	m		0,20	0,20		0,20	
numero di bracci	nb			2,5	2,5		2,5	
Armatura a taglio (staffe)	Asw	mmq		503	503		283	
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	deg		90	90		90	
Inclinazione dei puntoni in cls rispetto all'asse della trave	θ	deg		21,8	21,8		21,8	
tensione media di compressione nella sezione	ocp	kPa		2820	5050		93	
coefficiente alpha	α_c			1,16	1,25		1,01	
Resistenza a "taglio trazione"	V _{Rsd}	kN		2726,3	2726,3		786,7	
Resistenza a "taglio compressione"	V _{Rcd}	kN		4005,5	4333,0		1787,3	
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	0,0	2726,3	2726,3	0,0	786,7	0,0
Azione di calcolo	V	kN	5,20E+00	9,10E+02	1,73E+03	7,80E+02	2,73E+02	5,20E+01
Fattore di sicurezza	FS	-	135,9	3,0	1,6	1,4	2,9	5,8

10.4.3 Sezione tipo Aa (Sezione di calcolo 4+240 valori caratteristici minimi sx)

10.4.3.1 Verifica rivestimenti di prima fase

Si riportano i domini di resistenza del rivestimento di prima fase nella canna sinistra:

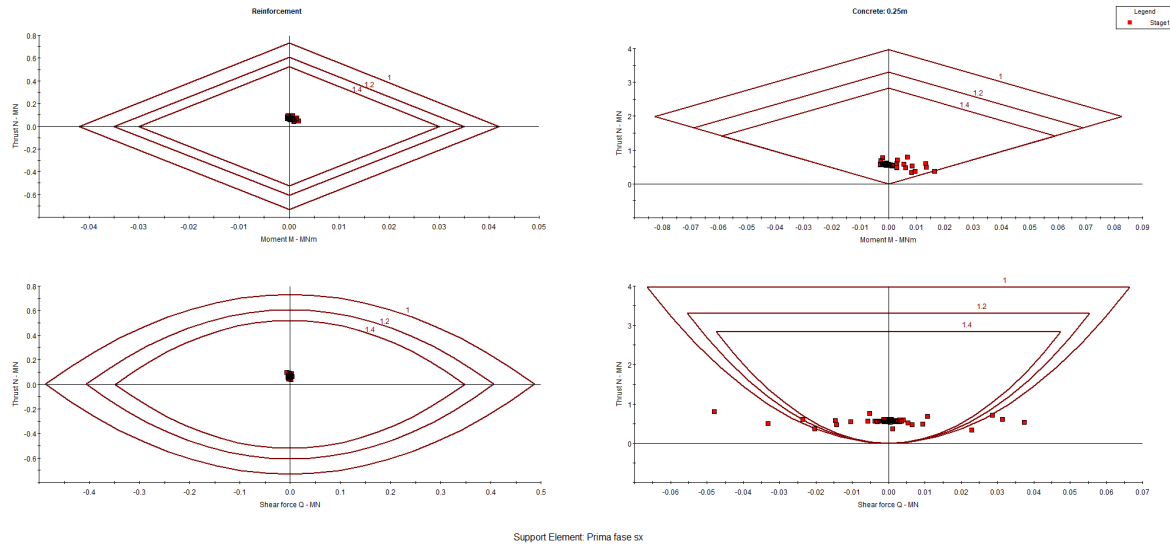


Figura: Dominio di resistenza rivestimento di prima fase canna sx.


10.4.3.2 Verifica rivestimenti definitivi

Le azioni sui rivestimenti nelle sezioni di verifica sono i seguenti:

Galleria	Sezione tipo	Sezione di verifica		Spessori minimi	Da software		
					T (MN)	N (MN)	M (MNm)
Chighizzu	Aa	Chiave calotta	ARMATO	0,60	0,02	4,65	-0,02
		45 deg	ARMATO	0,60	0,04	4,41	0,02
		Piano dei centri	ARMATO	0,60	0,08	4,43	0,30
		Piedritto - muretta	ARMATO	1,32	-2,81	3,58	2,38
		Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	2,00	4,69	0,70
		Chiave arco rovescio	ARMATO	0,70	-0,02	5,28	0,83

Galleria	Sezione tipo	Sezione di verifica		SLU Amplificato x1,3			SLV Sisma			SLE		
				T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)
Chighizzu	Aa	Chiave calotta	ARMATO	20,80	6045,00	-26,00	23,20	4657,20	3,40	16,00	4650,00	-20,00
		45 deg	ARMATO	52,00	5733,00	26,00	47,20	4417,20	43,40	40,00	4410,00	20,00
		Piano dei centri	ARMATO	104,00	5759,00	390,00	87,20	4437,20	323,40	80,00	4430,00	300,00
		Piedritto - muretta	ARMATO	-3653,00	4654,00	3094,00	-2802,80	3587,20	2403,40	-2810,00	3580,00	2380,00
		Muretta - arco rovescio	ARMATO	2600,00	6097,00	910,00	2007,20	4697,20	723,40	2000,00	4690,00	700,00
		Chiave arco rovescio	ARMATO	-23,40	6864,00	1079,00	-10,80	5287,20	853,40	-18,00	5280,00	830,00

A continuazione si riportano le verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio per le sei sezioni di verifica:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

10.4.3.2.1 Sezione 1 chiave calotta

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 1 - Chiave calotta

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\AalSez 1 - Chiave calotta.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00	MPa
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30	MPa
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30	MPa
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2100000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50		


CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	60.0
3	50.0	60.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	53.2	24
3	43.2	53.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	6045.00	-26.00	0.00	0.00	0.00
2	4657.20	3.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	5330.00	-20.00 (639.68)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO


Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	6045.00	0.00	0.00	6044.94	-1177.85	0.00	45.302	-----
2	S	4657.20	1204.89	0.00	4657.25	1215.32	0.00	357.447	-----

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.00114	-50.0	0.0	0.00288	-43.2	6.8	-0.00138	43.2	53.2
2	0.00350	0.00056	50.0	60.0	0.00272	43.2	53.2	-0.00259	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000091668	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000114438	-0.003366289	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE


Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1*Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	8.26	-50.0	0.0	116.5	21.6	53.2	----	----	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} Esito della verifica
S1	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - Beta12*(Ssr/Ss)^2 = 1 - Beta12*(f_{ctm}/S2)^2 = 1 - Beta12*(Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4*Ss/Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
-------	-----	----	----	----	---	----	-----	------	-----	----	---------	---------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1 S 7.7 0 --- --- --- --- --- --- --- 639.68 0.00

10.4.3.2.2 Sezione 2 calotta a 45 gradi

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 2 - 45 gradi

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\AalSez 2 - 45 gradi.sez)

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Moderat. aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertza
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -

Classe:	C32/40
Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
Def.unit. ultima ecu:	0.0035
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm

ACCIAIO -

Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50


CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	60.0
3	50.0	60.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	53.2	24

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

3	43.2	53.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	5733.00	26.00	0.00	0.00	0.00
2	4657.20	43.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	5110.00	2.00 (639.68)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1,000
As Tesa	Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	5733.00	0.00	0.00	5733.03	1201.61	0.00	46.216	----
2	S	4657.20	1204.89	0.00	4657.25	1215.32	0.00	28.003	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.00105	50.0	60.0	0.00285	43.2	53.2	-0.00157	-43.2	6.8
2	0.00350	0.00056	50.0	60.0	0.00272	43.2	53.2	-0.00259	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000095281	-0.002216832	----	----
2	0.000000000	0.000114438	-0.003366289	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 * Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	7.68	-50.0	60.0	114.4	21.6	6.8	----	----	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	= $1 - Beta12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - Beta12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - Beta12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm$. Valore limite tra parentesi

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	7.6	0	---	---	---	---	---	---	---	639.68	0.00

10.4.3.2.3 Sezione 3 piano dei centri

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 3 - Piano dei centri

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05 OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\Aal\Sez 3 - Piano dei centri.sez)

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI


CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	60.0
3	50.0	60.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
----------	--------	--------	------------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	53.2	24
3	43.2	53.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	5759.00	390.00	0.00	0.00	0.00
2	4437.20	323.20	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	4250.00	220.00 (639.68)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	5759.00	0.00	0.00	5759.14	1199.68	0.00	3.076	----
2	S	4437.20	1189.85	0.00	4437.37	1203.99	0.00	3.725	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.00106	50.0	60.0	0.00285	43.2	53.2	-0.00155	-43.2	6.8
2	0.00350	0.00041	50.0	60.0	0.00268	43.2	53.2	-0.00289	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000094974	-0.002198429	----	----
2	0.000000000	0.000120105	-0.003706306	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	9.41	-50.0	60.0	60.1	-21.6	6.8	----	----	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
 S1 Esito della verifica
 S2 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 k2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
 k3 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata
 kØ = 0.125 per flessione e presso-flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica
 Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Psi	= $1 - \text{Beta}12^*(\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12^*(\text{fctm}/\text{S}2)^2 = 1 - \text{Beta}12^*(\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	3.3	0	---	---	---	---	---	---	---	639.68	0.00

10.4.3.2.4 Sezione 4 piedritto – muretta

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 4 - Piedritto-Muretta

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05 OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\Aal\Sez 4 - Piedritto-Muretta.sez)


Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2100000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta1*\beta2$:		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta1*\beta2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	132.0
3	50.0	132.0
4	50.0	0.0

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 Sanas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	Relazione di calcolo	

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	125.2	24
3	43.2	125.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	4654.00	3094.00	0.00	0.00	0.00
2	3587.20	2403.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	3950.00	-1300.00 (-3546.52)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
 Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult, Mx Ult, My Ult) e (N, Mx, My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	4654.00	3220.15	0.00	4653.99	3527.88	0.00	1.140	-----
2	S	3587.20	2779.96	0.00	3587.27	3063.99	0.00	1.275	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00298	-50.0	132.0	0.00272	43.2	125.2	-0.01084	-43.2	6.8
2	0.00350	-0.00491	-50.0	132.0	0.00249	43.2	125.2	-0.01510	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000114519	-0.011616510	----	----
2	0.000000000	0.000148577	-0.016112205	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	7.04	-50.0	0.0	-18.0	21.6	125.2	1250	22.6	21.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 Ver. Esito della verifica
 S1 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-1.1	0	0.125	24	56	-2.721	0.00003 (0.00003)	222	0.013 (0.20)	-3546.52	0.00

10.4.3.2.5 Sezione 5 muretta – arco rovescio

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 5 - Muretta-Arco rovescio

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chigizzu\AalSez 5 - Muretta-Arco rovescio.sez)


Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta1 * \beta2$:	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta1 * \beta2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1	-50.0	0.0
2	-50.0	70.0
3	50.0	70.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	63.2	24
3	43.2	63.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	6097.00	910.00	0.00	0.00	0.00
2	4697.20	723.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA


N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	2710.00	660.00 (625.90)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.2	cm

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	6097.00	1614.04	0.00	6096.73	1617.63	0.00	1.778	-----
2	S	4697.20	1509.01	0.00	4697.20	1540.47	0.00	2.129	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.00088	-50.0	70.0	0.00291	-43.2	63.2	-0.00202	-43.2	6.8
2	0.00350	0.00010	-50.0	70.0	0.00273	-43.2	63.2	-0.00367	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue


N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000087418	-0.002619257	----	----
2	0.000000000	0.000113461	-0.004442245	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	11.58	-50.0	70.0	-75.6	-43.2	6.8	1300	22.6	21.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e_1 + e_2) / (2 * e_1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	$= 1 - \beta_1 * 12 * (S_{sr} / S_s)^2 = 1 - \beta_1 * 12 * (f_{ctm} / S_2)^2 = 1 - \beta_1 * 12 * (M_{fess} / M)^2$ [B.6.6 DM96]
sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * S_s / E_s$ è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm$. Valore limite tra parentesi
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	sm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-3.3	0	0.125	24	56	0.550	0.00020 (0.00014)	224	0.076 (0.20)	625.90	0.00

10.4.3.2.6 Sezione 6 chiave arco rovescio

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 6 - Mezzeria Arco rovescio

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05 OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chigizzu\Aa\Sez 6 - Mezzeria Arco rovescio.sez)


Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo f_{cd} :	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza e_{c2} :	0.0020
	Def.unit. ultima e_{cu} :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale E_c :	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. f_{yk} :		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura f_{tk} :		450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo f_{yd} :		391.30 MPa
Resist. ultima di calcolo f_{td} :		391.30 MPa
Deform. ultima di calcolo E_{pu} :		0.068
Modulo Elastico E_f :		2100000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 * \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
--------------------	------------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	70.0
3	50.0	70.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	63.2	24
3	43.2	63.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	6864.00	1079.00	0.00	0.00	0.00
2	5287.20	853.40	0.00	0.00	0.00


COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	3800.00	80.00 (625.90)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	6864.00	0.00	0.00	6864.14	1572.49	0.00	1.457	-----
2	S	5287.20	1566.43	0.00	5287.37	1586.08	0.00	1.859	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.00111	-50.0	70.0	0.00296	-43.2	63.2	-0.00152	-43.2	6.8
2	0.00350	0.00048	-50.0	70.0	0.00281	-43.2	63.2	-0.00287	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA


a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000079507	-0.002065481	----	----
2	0.000000000	0.000100791	-0.003555401	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	--------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1 S 5.77 -50.0 70.0 64.3 -21.6 6.8 --- --- --- ---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} Esito della verifica											
S1	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata											
S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata											
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata											
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica											
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace A_c eff											
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa											
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]											
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite $= 0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi											
srm	Distanza media tra le fessure [mm]											
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure $= 1.7 * e \text{ sm} * srm$. Valore limite tra parentesi											
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]											
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]											
Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	4.1	0	---	---	---	---	---	---	---	625.90	0.00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500



CA357

Relazione di calcolo

10.4.3.2.7 Verifiche a taglio

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Dati	Var	unità	Chiave calotta	45 deg	Piano dei centri	Piedritto - muretta	Muretta - arco rovescio	Chiave arco rovescio
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	40	40	40	40	40	40
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	32	32	32	32	32	32
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Resistenza a compressione di calcolo	fcd	Mpa	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450	450	450	450	450	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391,3	391,3	391,3	391,3	391,3	391,3
Caratteristiche geometriche sezione								
Altezza	H	m	0,60	0,60	0,60	1,32	1,00	0,70
Larghezza	B	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Area calcestruzzo	Ac	m ²	0,60	0,60	0,60	1,32	1,00	0,70
Larghezza anima copriferrò	bw	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
c	c	m	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
altezza utile della sezione	d	m	0,53	0,53	0,53	1,25	0,93	0,63
Compressione agente nella sezione								
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	6,05E+03	5,73E+03	5,76E+03	4,65E+03	6,10E+03	6,86E+03
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio								
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sezione considerata								
Asl	Asl	mmq	2260	2260	2260	2260	2260	2260
Coefficiente k	k	m	1,61	1,61	1,61	1,40	1,46	1,56
vmin	vmin		0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_l		0,00425	0,00425	0,00425	0,00181	0,00242	0,00358
tensione media di compressione nella sezione	ocp	Mpa	3,63	3,63	3,63	3,53	3,63	3,63
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	535,2	535,2	535,2	1039,4	831,0	610,8
Elementi con armature trasversali resistenti al taglio								
<i>Verifica del conglomerato</i>								
Resistenza a taglio del conglomerato	V _{Rcd}	kN				6810,9	5070,1	
<i>Verifica dell'armatura trasversale</i>								
diametro staffe	fsw	mm				20	20	
passo staffe	scp	m				0,20	0,20	
numero di bracci	nb					2,5	2,5	
Armatura a taglio (staffe)	Asw	mmq				785	785	
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	deg				90	90	
Inclinazione dei puntoni in cls rispetto all'asse della trave	θ	deg				21,8	21,8	
tensione media di compressione nella sezione	ocp	kPa				3526	6097	
coefficiente alpha	α_c					1,19	1,25	
Resistenza a "taglio trazione"	V _{Rsd}	kN				4329,0	3222,6	
Resistenza a "taglio compressione"	V _{Rcd}	kN				4207,6	3277,9	
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	0,0	0,0	0,0	4207,6	3222,6	0,0
Azione di calcolo	V	kN	2,08E+01	5,20E+01	1,04E+02	3,65E+03	2,60E+03	2,34E+01
Fattore di sicurezza	FS	-	25,7	10,3	5,1	1,2	1,2	26,1

10.4.4 Sezione tipo Bb (Sezione di calcolo 4+131 valori caratteristici minimi sx)

10.4.4.1 Verifica rivestimenti di prima fase

Si riportano i domini di resistenza del rivestimento di prima fase nella canna sinistra:

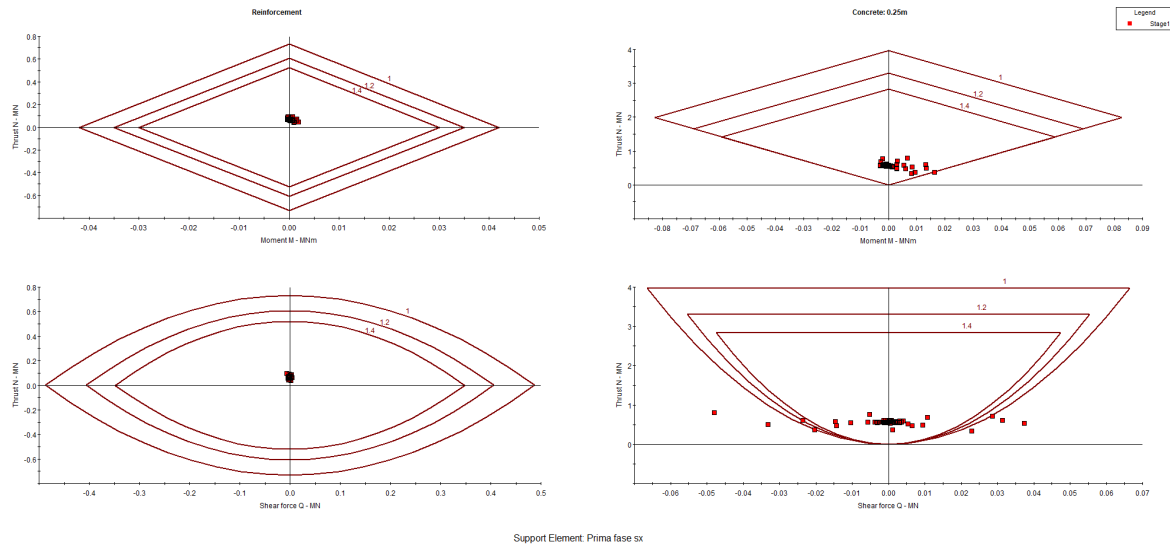



Figura: Dominio di resistenza rivestimento di prima fase canna sx.

10.4.4.2 Verifica rivestimenti definitivi

Le azioni sui rivestimenti nelle sezioni di verifica sono i seguenti:

Galleria	Sezione tipo	Sezione di verifica		Spessori minimi	Da software		
					T (MN)	N (MN)	M (MNm)
Chighizzu	Bb	Chiave calotta	ARMATO	1,40	0,01	0,26	0,00
		45 deg	ARMATO	1,40	-0,01	0,20	-0,01
		Piano dei centri	ARMATO	1,40	-0,02	0,69	0,04
		Piedritto - muretta	ARMATO	2,12	-0,28	0,61	-0,21
		Muretta - arco rovescio	ARMATO	0,70	0,00	0,16	0,07
		Chiave arco rovescio	ARMATO	0,70	0,00	0,31	0,00

Sezione di verifica		SLU Amplificato x1,3			SLV Sisma			SLE		
		T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)	T (kN)	N (kN)	M (kNm)
Chiave calotta	ARMATO	8,22	338,00	-2,85	13,52	267,20	21,21	6,32	260,00	-2,19
45 deg	ARMATO	-7,54	260,00	-13,00	1,40	207,20	13,40	-5,80	200,00	-10,00
Piano dei centri	ARMATO	-26,00	897,00	52,00	-12,80	697,20	63,40	-20,00	690,00	40,00
Piedritto - muretta	ARMATO	-364,00	793,00	-273,00	-272,80	617,20	-186,60	-280,00	610,00	-210,00
Muretta - arco rovescio	ARMATO	1,78	208,00	91,00	8,57	167,20	93,40	1,37	160,00	70,00
Chiave arco rovescio	ARMATO	3,38	403,00	-3,90	9,80	317,20	20,40	2,60	310,00	-3,00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

A continuazione si riportano le verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio per le sei sezioni di verifica:

10.4.4.2.1 Sezione 1 chiave calotta

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 1 - Chiave calotta

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05 OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\Bb\Sez 1 - Chiave calotta.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI


CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00	MPa
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30	MPa
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30	MPa
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2100000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	140.0
3	50.0	140.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	133.2	24

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

3	43.2	133.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	338.00	-2.85	0.00	0.00	0.00
2	267.20	21.21	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	852.00	-220.00 (-31481.12)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1,000
As Tesa	Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	338.00	-1309.14	0.00	338.08	-1374.25	0.00	482.193	----
2	S	267.20	1268.30	0.00	267.35	1329.30	0.00	62.673	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.02528	-50.0	0.0	0.00024	-43.2	6.8	-0.06040	43.2	133.2
2	0.00350	-0.02607	-50.0	140.0	0.00015	-43.2	133.2	-0.06215	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000479699	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000492847	-0.065498556	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 * Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	1.18	-50.0	0.0	0.5	-21.6	133.2	----	----	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	= $1 - Beta12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - Beta12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - Beta12 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]
sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
sm	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm$. Valore limite tra parentesi

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.0	0	---	---	---	---	---	---	---	-31481.12	0.00

10.4.4.2 Sezione 2 calotta a 45 gradi

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 2 - 45 gradi

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\Bb\Sez 2 - 45 gradi.sez)

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI


CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00
Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	140.0
3	50.0	140.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
----------	--------	--------	-----------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	133.2	24
3	43.2	133.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	260.00	-13.00	0.00	0.00	0.00
2	207.20	13.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	770.00	320.00 (2824.52)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Coprifermo netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
 Interfero netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	260.00	-1264.23	0.00	260.13	-1324.71	0.00	101.901	----
2	S	207.20	1233.71	0.00	207.05	1290.96	0.00	96.340	----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.02615	-50.0	0.0	0.00014	-43.2	6.8	-0.06233	-43.2	133.2
2	0.00350	-0.02675	-50.0	140.0	0.00007	-43.2	133.2	-0.06365	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000494211	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000504134	-0.067078717	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	1.52	-50.0	140.0	-8.3	0.0	6.8	2091	22.6	21.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 Esito della verifica
 S1 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
 k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata
 k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica
 Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Psi	= $1 - \text{Beta}12^*(\text{Ssr}/\text{Ss})^2 = 1 - \text{Beta}12^*(\text{fctm}/\text{S}2)^2 = 1 - \text{Beta}12^*(\text{Mfess}/\text{M})^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * \text{Ss}/\text{Es}$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * \text{srm}$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.4	0	0.125	24	56	-37.955	0.00002 (0.00002)	266	0.007 (0.20)	2824.52	0.00

10.4.4.2.3 Sezione 3 piano dei centri

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 3 - Piano dei centri

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi07-Rel\05 OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzu\Bbl\Sez 3 - Piano dei centri.sez)


Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta1*\beta2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta1*\beta2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	140.0
3	50.0	140.0
4	50.0	0.0

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	133.2	24
3	43.2	133.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	897.00	52.00	0.00	0.00	0.00
2	697.20	63.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	1280.00	16.00 (2824.52)	0.00 (0.00)


RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
 Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult, Mx Ult, My Ult) e (N, Mx, My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	897.00	1622.26	0.00	896.95	1727.47	0.00	33.221	-----
2	S	697.20	1512.10	0.00	697.29	1601.73	0.00	25.264	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.01979	-50.0	140.0	0.00086	-43.2	133.2	-0.04821	-43.2	6.8
2	0.00350	-0.02163	-50.0	140.0	0.00065	-43.2	133.2	-0.05228	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000388226	-0.050851676	----	----
2	0.000000000	0.000418800	-0.055132003	----	----


COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	0.92	-50.0	140.0	12.5	21.6	6.8	----	----	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 S1 Esito della verifica
 S2 Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
 S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e \text{ sm} * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.8	0	----	----	----	----	----	----	----	2824.52	0.00

10.4.4.2.4 Sezione 4 piedritto – muretta

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 4 - Piedritto-Muretta

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chigizzu\Bbl\Sez 4 - Piedritto-Muretta.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta1 * \beta2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta1 * \beta2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C32/40	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500



CA357

Relazione di calcolo

2	-50.0	212.0
3	50.0	212.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	205.2	24
3	43.2	205.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	8	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	793.00	-273.00	0.00	0.00	0.00
2	617.20	-186.60	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione


N°Comb.	N	Mx	My
1	1390.00	-660.00 (-11989.34)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn	Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn	Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult	Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm ²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	793.00	-4090.46	16.37	792.91	-4331.33	0.00	15.025	-----
2	S	617.20	-3940.44	12.74	617.25	-4160.43	0.00	20.935	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.02286	-50.0	0.0	0.00153	-43.2	6.8	-0.05603	-43.2	205.2
2	0.00350	-0.02459	-50.0	0.0	0.00140	-43.2	6.8	-0.05994	-43.2	205.2

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue


N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000290096	0.003500000	----	----
2	0.000000000	-0.000309161	0.003500000	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	1.47	50.0	0.0	-2.4	-43.2	205.2	1350	45.2	9.6	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} Esito della verifica
S1	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
S2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace A_c eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \beta \cdot 12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \beta \cdot 12 * (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \beta \cdot 12 * (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss/Es$ è tra parentesi
sm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm * srm$. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	sm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.2	0	0.125	24	56-163.996	0.00000 (0.00000)	167	0.001 (0.20)	-11989.34	0.00	

10.4.4.2.5 Sezione 5 muretta – arco rovescio

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 5 - Muretta-Arco rovescio

(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chighizzo\Bb\Sez 5 - Muretta-Arco rovescio.sez)


Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo f_{cd} :	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale E_c :	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. f_{yk} :		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura f_{tk} :		450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo f_{yd} :		391.30 MPa
Resist. ultima di calcolo f_{td} :		391.30 MPa
Deform. ultima di calcolo E_{pu} :		0.068
Modulo Elastico E_f :		2100000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 * \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C32/40

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	70.0
3	50.0	70.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	63.2	24
3	43.2	63.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	208.00	91.00	0.00	0.00	0.00
2	167.20	93.40	0.00	0.00	0.00


COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	710.00	170.00 (637.71)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	208.00	568.14	0.00	207.98	599.18	0.00	6.584	-----
2	S	167.20	557.19	0.00	167.03	587.47	0.00	6.290	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.01162	-50.0	70.0	0.00007	-43.2	63.2	-0.02835	-43.2	6.8
2	0.00350	-0.01184	-50.0	70.0	0.00002	-43.2	63.2	-0.02883	-43.2	6.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA


a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000503962	-0.031777331	----	----
2	0.000000000	0.000511496	-0.032304737	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	--------

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

1 S 2.98 -50.0 70.0 -18.6 -43.2 6.8 1250 22.6 21.6 0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
S1	Esito della verifica
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace A_c eff
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm	$= 1 - \text{Beta}12 \cdot (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]
srm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 \cdot Ss/Es$ è tra parentesi
wk	Distanza media tra le fessure [mm]
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot sm \cdot srm$. Valore limite tra parentesi
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.8	0	0.125	24	56	-6.036	0.00004 (0.00004)	222	0.013 (0.20)	637.71	0.00

10.4.4.2.6 Sezione 6 chiave arco rovescio

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez 6 - Mezzeria Arco rovescio


(Percorso File: U:\ANAS\AQ 2018-2022\DG 28 - SICILIA\4 - CA357_SS131_Ossi\07-Rel\05_OPERE MAGGIORI\052_GALLERIE\Galleria naturale\RC_SEC\02_Chigizzu\Bb\Sez 6 - Mezzeria Arco rovescio.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inertza
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo f_{cd} :	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale E_c :	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione f_{ctm} :	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	S_c limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. f_{yk} :	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura f_{tk} :	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo f_{yd} :	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo f_{td} :	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo E_{pu} :	0.068
	Modulo Elastico E_f :	2100000 daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Forma del Dominio: Poligonale
 Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	70.0
3	50.0	70.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.2	6.8	24
2	-43.2	63.2	24
3	43.2	63.2	24
4	43.2	6.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x


N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	403.00	-3.90	0.00	0.00	0.00
2	317.20	20.40	0.00	0.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	550.00	-12.00 (637.71)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1,000
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	403.00	-619.99	0.00	403.26	-654.90	0.00	167.922	-----
2	S	317.20	597.31	0.00	317.25	630.42	0.00	30.903	-----

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.01055	-50.0	0.0	0.00031	-43.2	6.8	-0.02610	43.2	63.2
2	0.00350	-0.01100	-50.0	70.0	0.00021	-43.2	63.2	-0.02705	-43.2	6.8


POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000468387	0.003500000	----	----
2	0.000000000	0.000483324	-0.030332699	----	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1*Beta2

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	0.84	-50.0	0.0	9.3	21.6	63.2	---	---	---	---

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}											
S1	Esito della verifica											
S2	Massima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata											
k2	Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata											
k3	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata											
Ø	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica											
Cf	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$											
Psi	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa											
e sm	= $1 - \text{Beta}12 \cdot (S_{sr}/S_s)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (f_{ctm}/S_2)^2 = 1 - \text{Beta}12 \cdot (M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]											
srn	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 \cdot S_s/Es$ è tra parentesi											
wk	Distanza media tra le fessure [mm]											
MX fess.	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 \cdot e \cdot s_m \cdot s_{rn}$. Valore limite tra parentesi											
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]											
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]											
Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srn	wk	Mx fess	My fess
1	S	0.6	0	---	---	---	---	---	---	---	637.71	0.00

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500
2° lotto dal km 202+000 al km 209+500




CA357

Relazione di calcolo

10.4.4.2.7 Verifiche a taglio

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Dati	Var	unità	Chiave cabotta	45 deg	Piano dei centri	Piedritto - muretta	Muretta - arco rovescio	Chiave arco rovescio
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	40	40	40	40	40	40
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	32	32	32	32	32	32
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Resistenza a compressione di calcolo	fcd	Mpa	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450	450	450	450	450	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391,3	391,3	391,3	391,3	391,3	391,3
Caratteristiche geometriche sezione								
Altezza	H	m	1,40	1,40	1,40	2,12	0,70	0,70
Larghezza	B	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Area calcestruzzo	Ac	m ²	1,40	1,40	1,40	2,12	0,70	0,70
Larghezza anima copriferro	bw	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
altezza utile della sezione	c	m	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
	d	m	1,33	1,33	1,33	2,05	0,63	0,63
Compressione agente nella sezione								
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	3,38E+02	2,60E+02	8,97E+02	7,93E+02	2,08E+02	4,03E+02
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio								
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sezione considerata								
Coefficiente k	Asl	mmq	2260	2260	2260	2260	2260	2260
vmin	k	m	1,39	1,39	1,39	1,31	1,56	1,56
rapporto geometrico di armatura longitudinale	vmin	m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
tensione media di compressione nella sezione	ρ_1		0,00170	0,00170	0,00170	0,00110	0,00358	0,00358
	ocp	Mpa	0,24	0,19	0,64	0,37	0,30	0,58
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	438,0	426,9	517,8	606,9	295,2	321,6
Azione di calcolo	V	kN	8,22E+00	7,54E+00	2,60E+01	3,64E+02	1,78E+00	3,38E+00
Fattore di sicurezza	FS	-	53,3	56,6	19,9	1,7	165,8	95,2

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

11 INTERAZIONI CON GLI EDIFICI ESISTENTI

11.1 Analisi dei cedimenti indotti in superficie dallo scavo della galleria naturale

11.1.1 Premessa

Il tracciato della galleria naturale si sviluppa in prossimità di alcuni fabbricati, caratterizzati da ricoprimenti di terreno differenti rispetto alla calotta della galleria.



Figura: Sovrapposizione progetto ad ortofoto.



Figura: Interferenze edifici - Galleria Naturale Chighizzu .

I fabbricati sono tutti caratterizzati dalle medesime caratteristiche costruttive, si tratta di edifici adibiti a civile abitazione (verde) e ad altra destinazione (in arancio), a massimo due-tre piani fuori terra, con struttura in cemento armato. Essendo l'asse sinistro esistente e quindi interessato solo da scavi di alesaggio, si considerano come edifici "critici" quello posto in asse alla canna dx alla progressiva 4+640 e quello leggermente spostato verso la canna sinistra alla progressiva 4+720 che presentano le seguenti caratteristiche:

Fabbricato n.	Progressiva	Copertura di terreno sul cielo della galleria (m)	Distanza dello spigolo più sfavorito dall'asse della galleria (m)
1	4+640	30	0
2	4+720	25	9

Come noto, i fenomeni di subsidenza che si sviluppano durante la costruzione possono causare danni ai manufatti situati nella zona di influenza dello scavo.

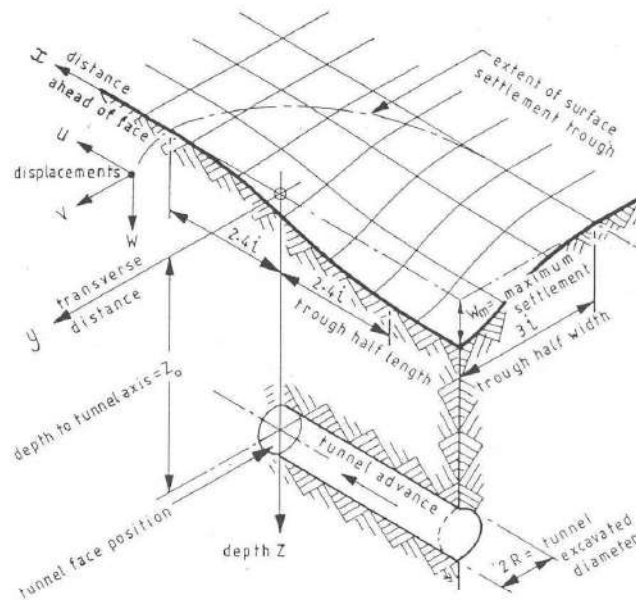
Nella pratica progettuale corrente la previsione dei cedimenti si effettua ricorrendo a correlazioni empiriche basate sulle osservazioni in sito.

Una stima ragionevolmente attendibile può essere ottenuta con riferimento alle condizioni di 'green field', cioè trascurando l'interazione con le strutture esistenti in superficie ed ipotizzando che il terreno si deformi liberamente in seguito alle operazioni di scavo.

In realtà la rigidità delle fondazioni e della sovrastruttura comporta l'attenuazione del fenomeno della subsidenza con conseguente riduzione della severità degli effetti.

11.1.2 Movimenti del terreno a breve e a lungo termine


Lo scavo di una galleria produce movimenti del terreno che si riflettono in superficie con la formazione di una conca di subsidenza all'incirca simmetrica rispetto all'asse della galleria. La conca si estende nella zona antistante il fronte di scavo e si modifica per un certo tratto dopo il passaggio del fronte.



x, y, z are the coordinates of a point in the ground movement field – the directions shown are positive
 $x = y = z = 0$ at the ground surface vertically above the centre of the tunnel face
 u, v, w are displacements from original position – the directions shown are positive
 i is a parameter that defines the form and span of the settlement trough
 n is a parameter that relates horizontal to vertical movement
 V is the volume of the transverse settlement trough per unit tunnel advance attributable to ground loss (excludes any consolidation settlement)
 u_m is the maximum horizontal displacement parallel at $x=0, y=0$
 v_m is the maximum horizontal displacement transverse at $x=-2z_0, y=i$
 w_m is the maximum vertical settlement at $x=-2z_0, y=0$

Fig.1 (Yeates, 1985)

E' possibile distinguere due fasi nel movimento del terreno.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

La componente iniziale o di breve termine, generalmente predominante, è strettamente connessa alla costruzione e si esaurisce nel giro di alcune settimane dal passaggio del fronte. E' in questa fase che i cedimenti differenziali e le deformazioni orizzontali in superficie raggiungono il loro valore massimo. Di conseguenza, la previsione di questa porzione iniziale dei cedimenti riveste importanza fondamentale ai fini della stima del danno alle strutture causato dallo scavo della galleria.

La componente di lungo termine si sviluppa invece nell'arco di un periodo di tempo piuttosto lungo che può durare anche alcuni anni. In terreni argillosi corrisponde al processo di consolidazione del terreno prodotto dalla equalizzazione delle pressioni interstiziali con le condizioni al contorno; in terreni granulari può derivare da fenomeni di riassetamento o di natura viscosa.

11.1.3 Profilo iniziale dei cedimenti in superficie

Nel seguito sono descritti i concetti fondamentali che costituiscono la base dell'approccio comunemente adottato per la previsione dei cedimenti indotti in superficie durante le operazioni di costruzione di una galleria, ai quali è associato il massimo danno potenziale alle strutture esistenti.

11.1.3.1 Profilo trasversale dei cedimenti

Il profilo trasversale del cedimento superficiale in condizioni di 'green field', trascurando cioè la presenza di qualsiasi edificio o struttura, è assimilato ad una curva di probabilità normale (funzione di errore o curva di Gauss).

In tal senso, diverse misure in sito, analisi stocastiche e le numerose sperimentazioni in laboratorio effettuate, hanno confermato la validità di questo approccio.

L'equazione della curva di probabilità normale è esprimibile con una relazione del tipo:

$$w(x) = w_{\max} \bullet e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \quad (1)$$


dove:

$w(x)$ = cedimento a distanza x dal piano verticale passante per l'asse della galleria;

w_{\max} = cedimento massimo (per $x=0$);

i = deviazione standard della curva.

Il valore di i rappresenta geometricamente la distanza del punto di flesso della curva dal piano verticale passante per l'asse longitudinale della galleria. Tale valore è anche un indice dello sviluppo del profilo trasversale del cedimento: infatti l'ampiezza complessiva della conca si pone uguale a $6i$, poiché l'area sottesa dalla curva fra $-3i$ a $+3i$ corrisponde al 99.7% dell'area totale.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Il volume di cedimento V_s compreso tra la superficie orizzontale del terreno a quella di subsidenza, considerando uno sviluppo unitario del profilo in direzione y , può essere ottenuto integrando l'equazione (1):

$$V_s = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot w_{\max} \cong 2.5 \cdot i \cdot w_{\max} \quad (2)$$

La curva di Gauss può quindi essere riscritta nella forma:

$$w(x) = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \cdot e^{\frac{-x^2}{2i^2}} \quad (3)$$

Si può osservare come, disponendo dei valori di i e V_s , il profilo trasversale di cedimento risulta completamente definito.

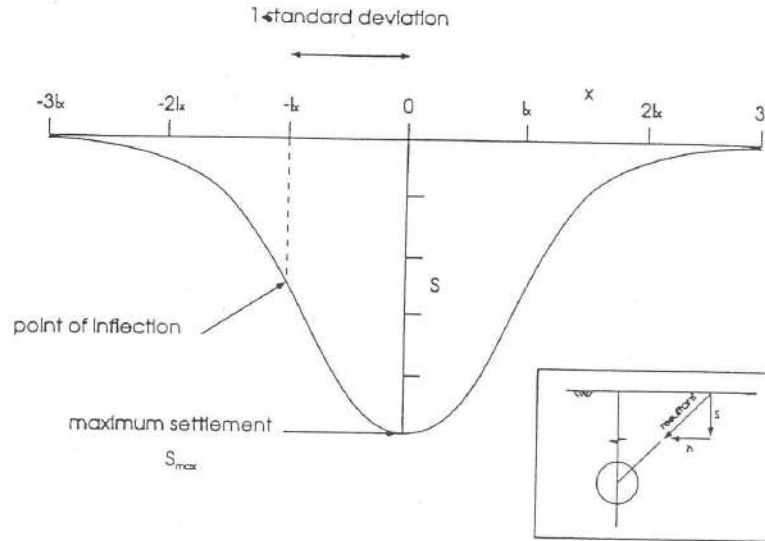


Fig.2 (Addenbrooke, 1995)

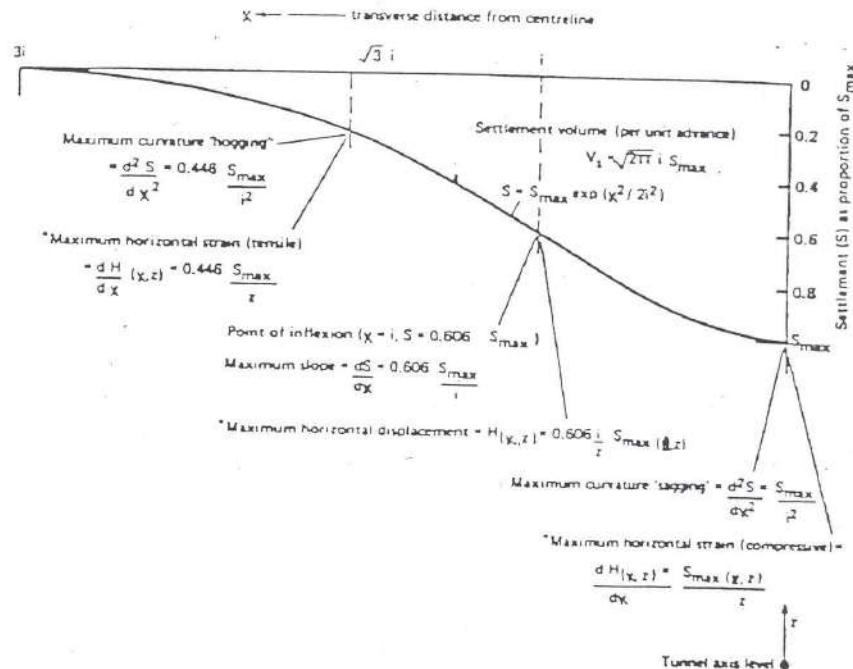



Fig.3 (O'Reilly e New, 1982)

11.1.3.2 Estensione del profilo trasversale dei cedimenti

In letteratura esistono diverse correlazioni empiriche per la stima del parametro i .

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Una interessante correlazione empirica per la valutazione di i , molto usata in pratica, è quella proposta da O'Reilly a New (1982). Analizzando i numerosi dati disponibili presso il Transport and Road Research Laboratory, è stata confermata l'esistenza di una relazione tra il valore del parametro i e la profondità dell'asse longitudinale della galleria. In rapporto alla natura coesiva o granulare dei terreni interessati dallo scavo, sono state ricavate due distinte espressioni.

Effettuando una regressione lineare dei dati relativi ai terreni coesivi si è ottenuta una relazione del tipo:

$$i = 0.43 z + 1.1 \quad (4)$$

Effettuando la stessa operazione per i dati relativi ai terreni granulari si è ottenuto:

$$i = 0.28z - 0.1 \quad (5)$$

Entrambe le rette di regressione passano vicino all'origine degli assi.

O'Reilly a New hanno suggerito di semplificare le loro equazioni nella forma:

$$i = Kz \quad (6)$$

dove:

$K = 0.50$ per i terreni coesivi

$K = 0.25$ per i terreni granulari

Ulteriori analisi di dati rilevati in sito indicano per la costante K i seguenti campi di variazione:

$K = 0.2 \div 0.3$ in terreni incoerenti al di sopra della superficie piezometrica

$K = 0.4 \div 0.5$ in terreni incoerenti al di sotto della superficie piezometrica


$K = 0.4 \div 0.5$ in terreni coesivi consistenti

$K = 0.6 \div 0.7$ in terreni coesivi teneri

La relazione (6) consente di scrivere l'equazione del profilo trasversale di subsidenza nel modo seguente:

$$w(x) = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi} \cdot Kz_0} \cdot e^{\frac{-x^2}{2(Kz_0)^2}} \quad (7)$$

E' interessante osservare che tutte le correlazioni proposte, pur ricavate seguendo strade diverse, conducono a relazioni formalmente analoghe. Si tratta sempre cioè di relazioni tra il parametro i e la profondità dello scavo, espressa o per mezzo della sua copertura o per mezzo della profondità del suo asse

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

longitudinale. L'analisi dei dati disponibili non ha invece evidenziato una dipendenza significativa di tale parametro né dal diametro D della galleria, né dalla tecnica costruttiva adottata.

11.1.3.3 Profilo longitudinale dei cedimenti

Attewell a Woodman (1982) hanno proposto che, essendo stata assunta una distribuzione normale $\phi(x)$ per i cedimenti lungo la sezione trasversale all'asse della galleria, fosse logico adottare la funzione di probabilità cumulata $\Phi(y)$ per descrivere il profilo longitudinale dei cedimenti:

$$\Phi(y) = \int_{-\infty}^y \phi(y) dy = \int_{-\infty}^y \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot i} \cdot e^{-\frac{y^2}{2i^2}} dy = \quad (8)$$

Quando applicata ai cedimenti del terreno, la curva di probabilità cumulata assume la forma:

$$w = w_{\max} \cdot \int_y^{+\infty} e^{-\frac{y^2}{2i^2}} dy = \quad (9)$$

in quanto si assume $w=w_{\max}$ in corrispondenza di $y=-\infty$ a $w=0$ per $y=+\infty$ (y = direzione di avanzamento).

Nella Figura seguente è rappresentato il profilo longitudinale dei cedimenti in superficie.

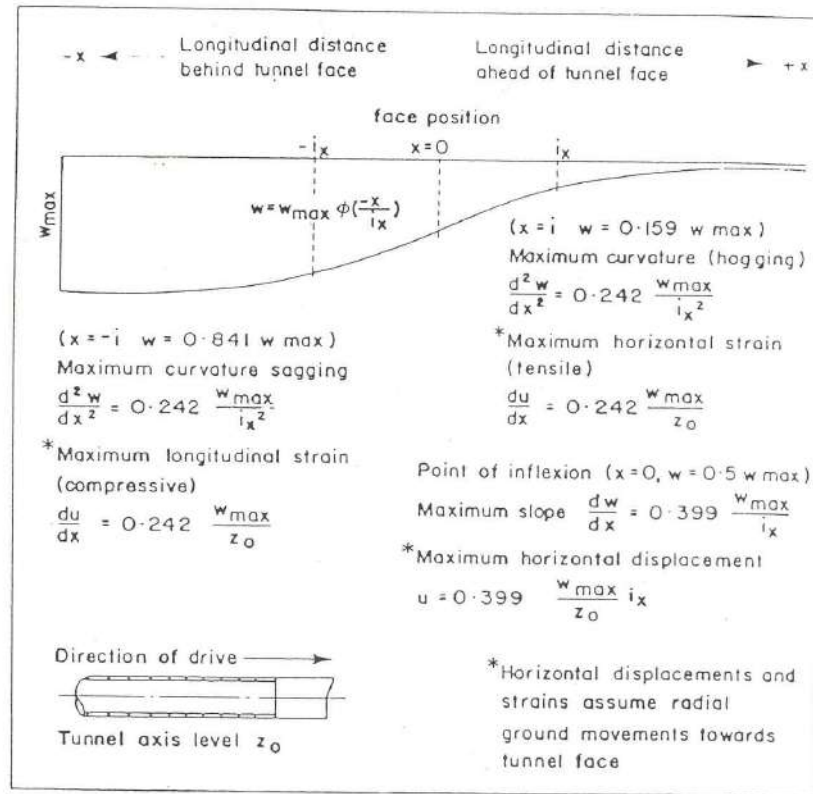


Fig. 4 (Lake et al., 1992)

Il terreno inizia a muoversi nella zona antistante lo scavo ad una distanza dal fronte pari a circa 1 o 2 volte la profondità dell'asse della galleria. In corrispondenza del fronte si ha un cedimento pari al 50% di w_{max} .

Generalmente si pone $i_x=i_y$: l'estensione longitudinale della conca davanti al fronte risulta allora pari a 2.5 $i_y=2.5 i$.

Ammettere la validità di tale ipotesi è in realtà un'approssimazione: Attewell e Hurrell (1985) hanno mostrato, in base alle osservazioni raccolte in alcuni casi reali, che il profilo longitudinale della conca di subsidenza è in effetti più esteso di quanto si ricava assumendo $i_x=i_y$. Inoltre, la curva reale risulta arretrata rispetto alla gaussiana, e il cedimento in corrispondenza del fronte è compreso fra il 40% (per terreni argillosi consistenti) e il 25% (per terreni sabbiosi) di w_{max} .

La previsione che si ottiene ponendo $i_x=i_y$ è quindi a vantaggio di sicurezza poiché sovrastima i cedimenti, l'inclinazione e la curvatura della conca.

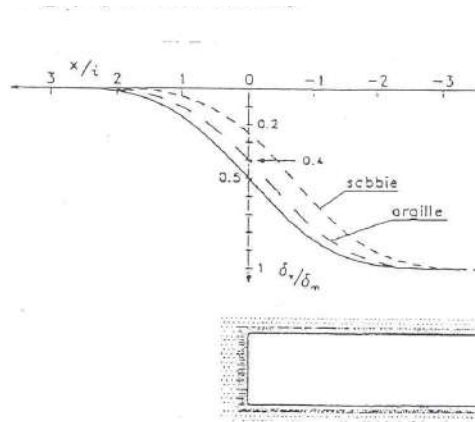


Fig. 5 (Ribacchi, 1993)

11.1.4 Entità dei cedimenti iniziali: le perdite di volume

Il secondo parametro essenziale per identificare il profilo trasversale di subsidenza con una curva di probabilità normale è il valore del cedimento massimo w_{max} o, equivalentemente, quello del volume della conca V_s .

L'osservazione dei casi reali evidenzia la grande influenza che hanno sull'entità dei movimenti del terreno le diverse modalità di scavo e di rivestimento che si possono adottare nella realizzazione di una galleria. La maggior parte dei movimenti del terreno si verifica infatti durante le operazioni di costruzione, prima della posa in opera del rivestimento.


La "fonte" di subsidenza può essere individuata nella cosiddetta "perdita di terreno" (o "volume perduto"), definita come il volume di materiale scavato in eccesso rispetto al volume teorico (volume nominale) della galleria.

Essa risulta dai movimenti del terreno verso il fronte, e radialmente verso l'asse della galleria, associati alla riduzione dello stato tensionale provocata dallo scavo. La sua entità è fortemente influenzata dal tipo di terreno, dalle condizioni idrauliche, dal metodo costruttivo, dal tempo necessario per fornire un sostegno al terreno e, non ultima, dalla qualità della mano d'opera.

Oltre ai fattori sopra elencati, anche le dimensioni dello scavo hanno influenza sull'entità dei cedimenti: la perdita radiale è infatti proporzionale al diametro della galleria, mentre la perdita al fronte è approssimativamente proporzionale al quadrato del diametro.

Poiché il volume perduto è in genere espresso come percentuale del volume nominale della galleria, la corrispondenza tra V_L a V_s si può esprimere con la relazione:

$$V_L = \frac{4V_s}{\pi D^2} \quad (10)$$

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

11.1.4.1 Valori osservati delle perdite di volume

Nei terreni coesivi consistenti V_L risulta compreso nell'intervallo 0.5÷2.5% al variare della tecnologia esecutiva.

Per rocce tenere sono stati rilevati valori più bassi fino a 0.2%.

Nella tabella seguente (Main, 1996) sono riportati alcuni dati relativi allo scavo di galleria in argille consistenti per diverse tecnologie esecutive.

Tab.1 - Papers on Open Face Tunnelling (Mair, 1996)

Authors	Construction method	Ground conditions	Tunnel diameter (m)	V_L (%)
Bowers et al.	SCL (NATM)*	London Clay	8.7	1.1-1.5
Umney and Heath	Shield+Segments	London Clay	5.4	1.5-1.8
Standing et al.	Shield+Segments	London Clay	4.5	2.9-3.3
Grose and Eddie	SCL (NATM) Shield+Segments	London Clay	4.5	1.0
Kavvadas et al.	SCL (NATM) TBM+Segments	Weak rocks	16.5	0.2

*SCL (NATM)=Sprayed Concrete Linings (New Austrian Tunnelling Method)

Per una vasta rassegna di *case histories* si può fare riferimento alla relazione di Lake *et al.* (1992).

11.1.5 Spostamenti a deformazioni orizzontali in superficie

I dati sperimentali riguardanti gli spostamenti e le deformazioni orizzontali sono più scarsi rispetto a quelli relativi agli spostamenti verticali, in quanto più difficili da misurare.

Le deformazioni orizzontali in superficie possono contribuire peraltro in maniera significativa al danneggiamento degli edifici preesistenti, ed è quindi necessaria la loro determinazione.

A questo scopo si adottano alcune ipotesi semplificative (New a O'Reilly, 1991): si assumono deformazioni piane a volume costante e si considera il vettore spostamento in superficie diretto verso il centro della galleria.

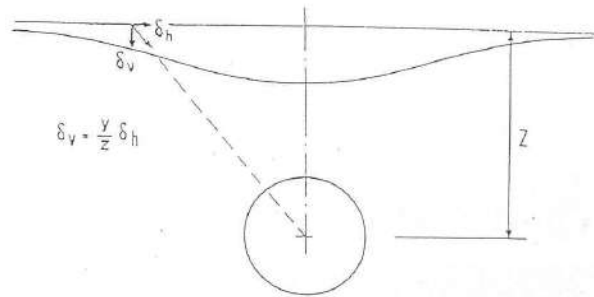


Fig. 6 (Mair, 1995)

In tali ipotesi lo spostamento e la deformazione orizzontali risultano espressi nel modo seguente:

$$v(x) = \frac{x}{z_0} w = \frac{x}{z_0} w \max \cdot e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \quad (11)$$

$$\epsilon_h(x) = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{w \max}{z_0} \cdot e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \cdot \left[1 - \frac{x^2}{i^2} \right] \quad (12)$$

Ciò comporta che nella zona estrema della conca gli spostamenti orizzontali previsti risultano amplificati rispetto a quelli verticali, al contrario si verifica in prossimità dell'asse della galleria.

Seppure conveniente dal punto di vista matematico, l'ipotesi di spostamenti radiali rappresenta una considerevole semplificazione del comportamento reale: analisi alle differenze finite condotte assumendo una variazione non lineare della rigidezza alle piccole deformazioni hanno evidenziato come questa assunzione possa condurre ad una significativa sovrastima delle deformazioni orizzontali di trazione.

La figura seguente mostra l'andamento del profilo dei cedimenti, degli spostamenti orizzontali e delle deformazioni orizzontali lungo la sezione trasversale.

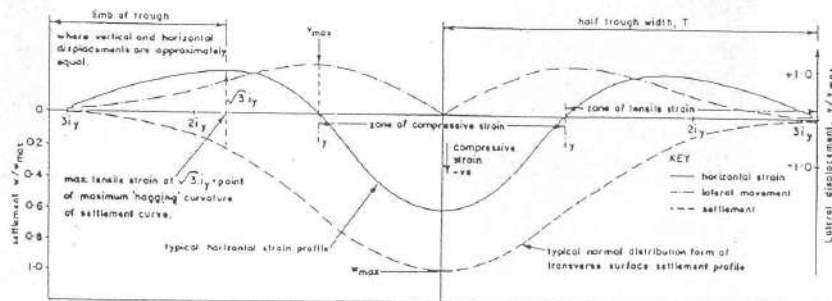



Fig. 7 (Lake et al., 1995)

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Lo spostamento orizzontale massimo si verifica in corrispondenza del punto di flesso, cioè alla distanza i rispetto all'asse della galleria, ed assume un valore pari a $0.25 \div 0.40 w_{max}$.

Le deformazioni più pericolose per le strutture sono quelle di trazione che si verificano nella zona di hogging, dove il profilo volge la concavità verso il basso; tale zona si estende a partire dal punto di flesso sino all'estremità della conca di subsidenza. La massima deformazione di trazione si verifica nel punto di massima curvatura che è alla distanza $\sqrt{3} i$, dal centro della conca.

La massima deformazione di compressione si verifica in asse alla galleria ed ha un valore pari a 2 o 3 volte la massima deformazione di trazione.

11.1.6 Metodologia di calcolo degli spostamenti e delle deformazioni indotti dallo scavo di una galleria

Per la valutazione dei cedimenti indotti dallo scavo di una galleria si segue il metodo empirico basato sull'ipotesi che il profilo trasversale dei cedimenti sia approssimabile ad una distribuzione gaussiana di probabilità normale.

La geometria della conca di subsidenza è univocamente individuata dal cedimento massimo w_{max} , a distanza i del punto di flesso della conca dall'asse della galleria.

Avendo ipotizzato per i cedimenti in direzione trasversale una distribuzione gaussiana normale, in direzione longitudinale si assume la corrispondente distribuzione di probabilità cumulata. In tal modo è possibile estendere l'equazione di Gauss anche alla zona antistante il fronte, a prevedere lo spostamento di un punto qualunque della superficie del terreno.

Le equazioni introdotte in precedenza si riferiscono ad una galleria rettilinea di lunghezza indefinita che si sviluppa a profondità costante.

11.1.7 Analisi dei cedimenti indotti dagli scavi - Applicazione al caso in oggetto

Nel caso in oggetto, i materiali interessati dagli scavi sono costituiti da marne, marne argillose e calcari bioclastici.

Per la valutazione dei cedimenti è stato assunto un valore del parametro k corrispondente ad argille consistenti:

parametro k : $k = 0.40$

Per quanto riguarda il volume perso, si può presumere che la tecnologia costruttiva prevista in corrispondenza delle case, permetta di contenere ai valori minimi le perdite di volume.

Sulla base delle case histories disponibili e delle esperienze dirette, si può assumere un valore di V_L pari al 0.2%.

11.1.7.1 Risultati ottenuti

I calcoli sono stati svolti con l'ausilio di uno specifico foglio di Excel ®.

Per ciascun caso analizzato si riportano i dati di input, la curva dei cedimenti, la curva delle rotazioni e quella delle deformazioni orizzontali.

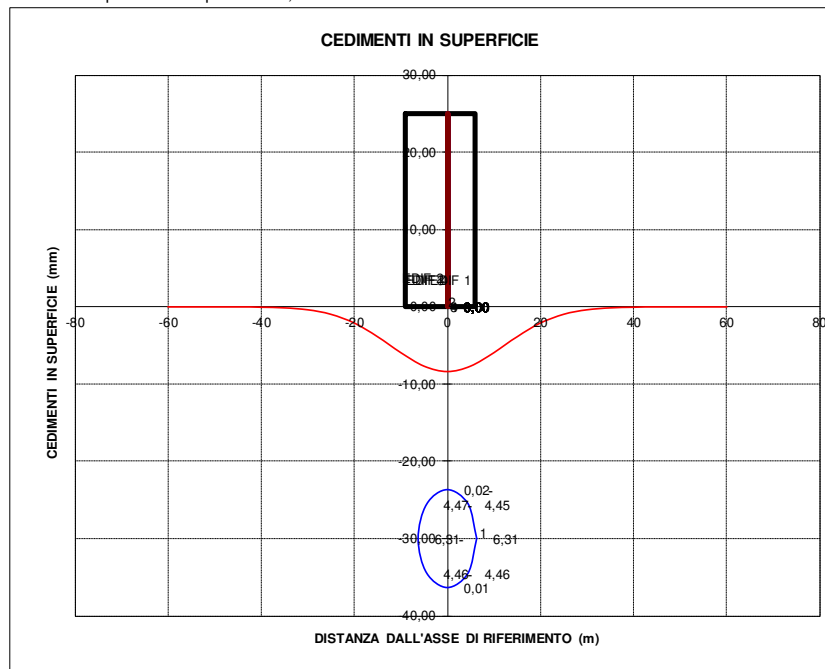
CALCOLO DEI CEDIMENTI SUPERFICIALI DOVUTI ALLE GALLERIE

GALLERIA CHIGHIZZU

PR. 4+640 dx

DATI DI INPUT TUNNEL		TUNNEL 1	TUNNEL 2	TUNNEL 3	TUNNEL 4
DIAMETRO DI SCAVO	m	12,62			
PROFONDITA' DELL'ASSE	m	30,00			
DISTANZA DALL'ASSE DI RIF.	m				
TERRENO PERSO	%	0,20			
PARAMETRO DI FORMA k ⁽¹⁾		0,40			
RISULTATI					
AREA DI SCAVO	m ³ /m	125,08			
VOLUME PERSO	m ³ /m	0,25			
PARAMETRO i	m	12			
CEDIMENTO MASSIMO W _{max}	mm	8,34			
CEDIMENTO A DISTANZA i	mm	5,05			
CEDIMENTO A DISTANZA 1.73 i	mm	1,86			

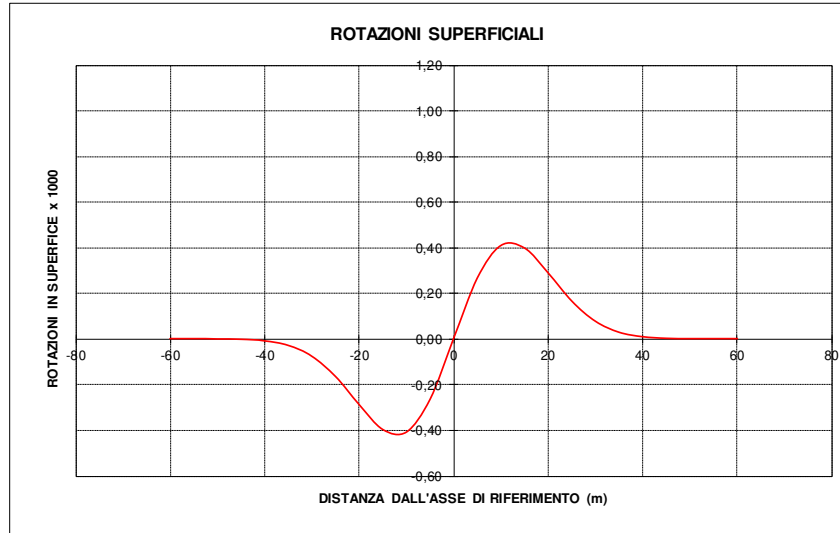
(1) k=0.4-0.5 per terreni coesivi consistenti; k=0.6-0.7 per terreni coesivi molli (cu<2kg/cm²);
k=0.2-0.3 per sabbie sopra la falda;



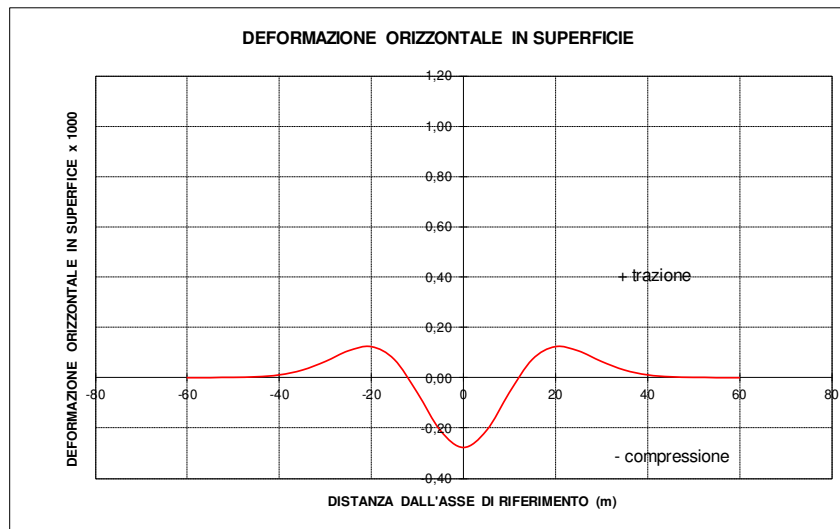
CEDIMENTO MASSIMO COMPLESSIVO (mm)	8
------------------------------------	---

**CALCOLO DEI CEDIMENTI SUPERFICIALI DOVUTI ALLE GALLERIE
 GALLERIA CHIGHIZZU**

PR. 4+640 dx



ROTAZIONE MASSIMA COMPLESSIVA 1/ 2444

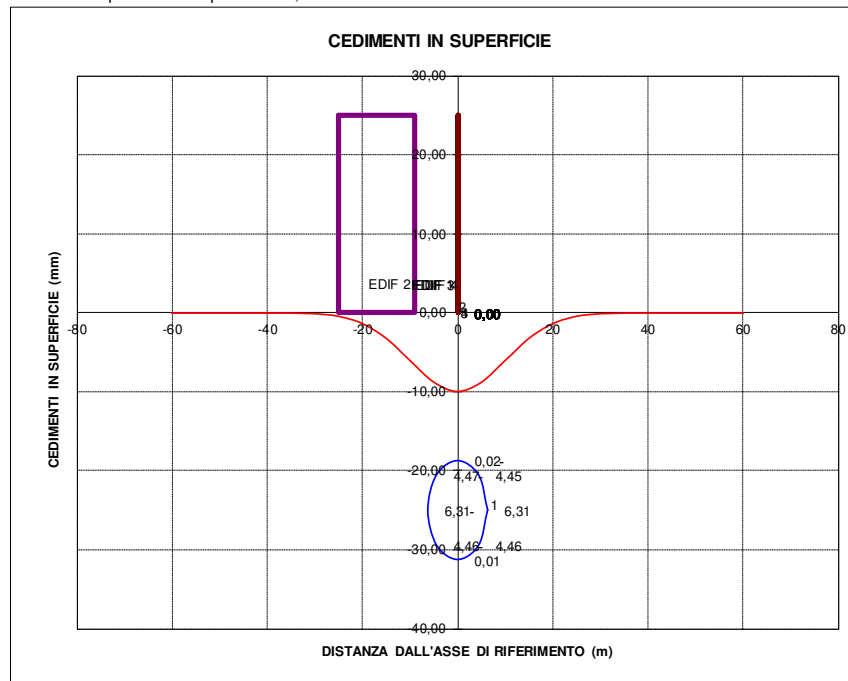


DEFORMAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA COMPLESSIVA (x1000) -0,278

GALLERIA CHIGHIZZU
PR. 4+720 dx

DATI DI INPUT TUNNEL		TUNNEL 1	TUNNEL 2	TUNNEL 3	TUNNEL 4
DIAMETRO DI SCAVO	m	12,62			
PROFONDITA' DELL'ASSE	m	25,00			
DISTANZA DALL'ASSE DI RIF.	m				
TERRENO PERSO	%	0,20			
PARAMETRO DI FORMA k ⁽¹⁾		0,40			
RISULTATI					
AREA DI SCAVO	m ³ /m	125,08			
VOLUME PERSO	m ³ /m	0,25			
PARAMETRO i	m	10			
CEDIMENTO MASSIMO w _{max}	mm	10,01			
CEDIMENTO A DISTANZA i	mm	6,06			
CEDIMENTO A DISTANZA 1.73 i	mm	2,23			

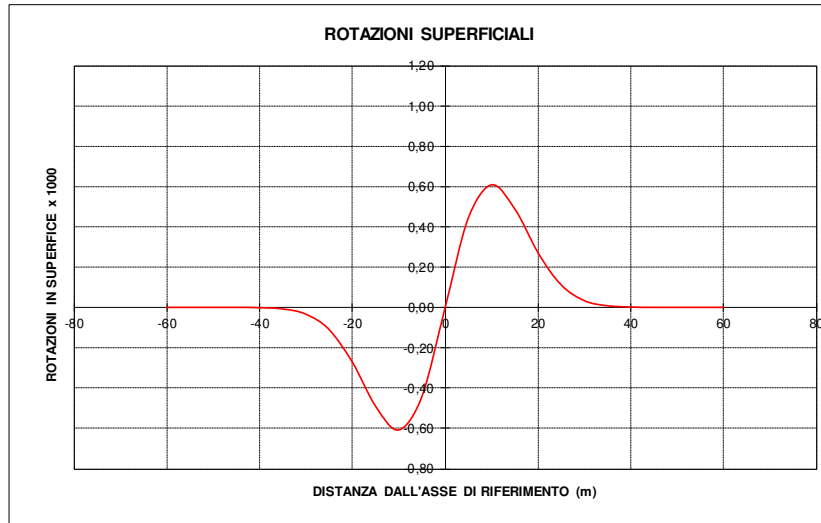
(1) k=0.4-0.5 per terreni coesivi consistenti; k=0.6-0.7 per terreni coesivi molli (cu<2kg/cm²);
k=0.2-0.3 per sabbie sopra la falda;



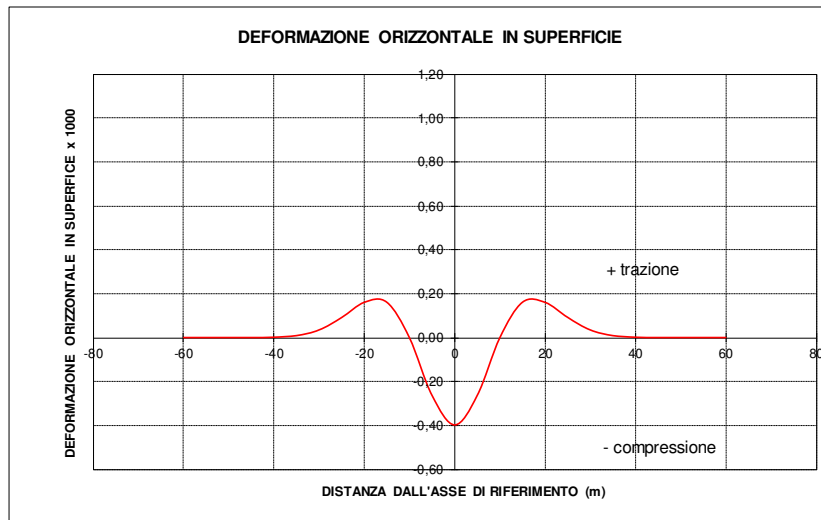
CEDIMENTO MASSIMO COMPLESSIVO (mm)	10
---	-----------

**CALCOLO DEI CEDIMENTI SUPERFICIALI DOVUTI ALLE GALLERIE
GALLERIA CHIGHIZZU**

PR. 4+720 dx




ROTAZIONE MASSIMA COMPLESSIVA 1/ 1648



DEFORMAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA COMPLESSIVA (x1000) -0,400

La tabella seguente riepiloga i principali risultati ottenuti:

Sezione di calcolo	Cedimento massimo in asse (mm)	Distorsione angolare massima	Deformazione orizzontale massima (x1000)
Edificio 1	8	1/2444	0.3
Edificio 2	10	1/648	0.4

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

11.2 Valutazione del danno causato ai fabbricati

11.2.1 Premessa

La realizzazione di opere sotterranee determina generalmente deformazioni delle strutture diverse, per modalità ed entità, da quelle provocate dal peso proprio e dai carichi di esercizio.

Peso proprio a carichi di esercizio producono prevalentemente cedimenti verticali del terreno, che si sviluppano in tempi lunghi e possono concludersi anche alcuni anni dopo che la costruzione è stata realizzata.

Invece gli spostamenti associati allo scavo di una galleria si esauriscono, per quanto riguarda la componente predominante, in un intervallo temporale molto più breve, che può raggiungere al massimo alcune settimane nei terreni argillosi; essi, inoltre, interessano una porzione di superficie molto più estesa, ed hanno componente non solo verticale ma anche orizzontale, con una direzione variabile in relazione alla posizione del punto in oggetto rispetto alla galleria.


Questi movimenti del terreno dovuti alle operazioni di scavo inducono negli edifici delle sollecitazioni che non sono considerate fra le azioni di progetto. Tali sollecitazioni si sovrappongono a quelle dovute al peso proprio e ai carichi di esercizio, e possono generare effetti di entità ben più che proporzionale nel caso in cui gli elementi della struttura siano soggetti a tensioni prossime al valore limite già prima dell'inizio delle operazioni di scavo.

La situazione precedente lo scavo non è peraltro di facile valutazione per una serie di cause: la complessità della struttura, le deformazioni o le eventuali modifiche strutturali cui l'edificio è stato soggetto nella sua storia, la differenza fra il comportamento effettivo dei materiali a quello ipotizzato in fase progettuale, le variazioni cui le proprietà dei materiali da costruzione sono soggette nel tempo: le costruzioni in muratura, ad esempio, diventano più fragili con il passare del tempo.

In generale il danno non è legato tanto al valore assoluto dei cedimenti e alle rotazioni rigide dell'edificio, quanto piuttosto all'entità delle deformazioni orizzontali del terreno, cui sono associate deformazioni di trazione (o di compressione) nella struttura, e dei cedimenti differenziali, che comportano, oltre a deformazioni normali, anche distorsioni.

Le modalità della deformazione dipendono non solo dalla geometria della conca di subsidenza, ma anche dalla posizione dell'edificio, dalle sue dimensioni e dalla sua rigidità. Se l'edificio è relativamente deformabile, largo rispetto all'estensione della conca e a una sua parte si trova al di fuori di essa, sarà soggetto prevalentemente a distorsione e determinante sarà l'inclinazione media della superficie di subsidenza; se invece l'edificio è rigido e poco esteso, sarà soggetto a ruotare rigidamente in proporzione al valore della curvatura locale della conca.

La valutazione dei cedimenti e degli spostamenti (e deformazioni) orizzontali viene effettuata utilizzando le relazioni empiriche introdotte precedentemente.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Nelle relazioni empiriche non si tiene conto della presenza di edifici o infrastrutture, e si assume quindi che il terreno si deformi liberamente in seguito alle operazioni di scavo (condizione di `green field`). Nella realtà però la presenza degli edifici influenza il comportamento del terreno, e può modificare sensibilmente il profilo dei cedimenti rispetto alle condizioni di `green field`. L'approccio normalmente adottato per la valutazione del danno risulta pertanto cautelativo.

11.2.2 Natura e conseguenze del danno

Il danno causato ad un assegnato edificio dalla realizzazione di un'opera sotterranea diventa gradualmente più severo all'aumentare dell'entità dei movimenti trasmessi dal terreno alle fondazioni.

Crescendo l'importanza degli effetti prodotti, si parla dapprima di danno "estetico", quindi di danno "funzionale", ed infine di danno "strutturale". Questa suddivisione del danno in tre grandi categorie può considerarsi il primo passo verso la definizione di un sistema di classificazione oggettivo più dettagliato, come risulta indispensabile per una previsione quantitativa del livello di rischio.

Il danno estetico o architettonico implica la formazione di fessure esclusivamente in elementi che non svolgono una funzione portante, come tamponature, tramezzi, pavimenti e finiture, ed un deterioramento generale a livello superficiale sia all'interno che all'esterno dell'edificio. Nelle situazioni in cui questo danno può essere riparato abbastanza facilmente, esso è ritenuto in genere tollerabile e quindi non si rendono necessarie misure preventive.

Le tamponature, i tramezzi e le finiture vengono generalmente realizzati nelle ultime fasi della costruzione, quando l'edificio ha già subito parte dei cedimenti indotti dal peso proprio; quindi, i criteri limite basati sull'osservazione dei danni prodotti in casi reali dai cedimenti dovuti al peso proprio possono sovrastimare le deformazioni massime tollerabili dagli elementi architettonici. Tali criteri devono in generale essere applicati con cautela a strutture soggette a deformazioni addizionali che si sviluppano rapidamente, come si verifica per effetto delle costruzioni sotterranee. In questi casi deformazioni anche piccole indotte nell'edificio possono determinare situazioni di pericolo non trascurabile, come ad esempio il distacco di elementi dalle finiture architettoniche (cornici di intonaco, etc.).


Il danno funzionale inficia il normale utilizzo o la funzionalità dell'edificio, senza comunque intaccarne l'integrità globale o la sicurezza statica. Alcuni impianti o macchinari (ad es. ascensori, macchine per la stampa o la fabbricazione di carta, etc.) possono essere sensibili a movimenti anche molto piccoli.

Poiché l'interruzione della funzionalità di una struttura può avere gravi conseguenze economiche, la previsione di questo tipo di danno implica in genere il ricorso a misure protettive.

Il danno strutturale corrisponde alla fessurazione o alla deformazione eccessiva di elementi con funzione portante, e può avere come conseguenza il crollo del singolo elemento, la perdita di continuità o l'instabilità dell'intera struttura.

L'evidenza di tale danno può essere talvolta mascherata da finiture architettoniche rimaste intatte. In genere, comunque, l'intonaco funge da indicatore della formazione di lesioni nelle strutture.

Nel caso di edifici a muratura portante la definizione di danno strutturale richiede una modifica, poiché in questo caso la fessurazione o la separazione di elementi strutturali può non necessariamente

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

compromettere la stabilità globale. In questo caso il danno strutturale si riferisce quindi alla deformazione che può condurre al pericolo di instabilità di tutta l'opera o di una sua parte.

11.2.3 Definizioni per gli spostamenti e le deformazioni delle fondazioni e del terreno

In generale un edificio subisce, per effetto dei movimenti del terreno, sia spostamenti rigidi che deformazioni. Allo scopo di mettere ordine nella confusa terminologia presente nella letteratura, Burland e Wroth (1974) hanno proposto una lista di simboli e definizioni per descrivere gli spostamenti delle fondazioni e del terreno. Tali definizioni sono state introdotte assumendo di conoscere gli spostamenti (misurati o calcolati) di un numero discreto di punti delle fondazioni di un edificio:

- si indica con w il cedimento di un punto; se lo spostamento verticale del punto è diretto verso l'alto si indica con w_h ;
- si indica con δw (o δw_h) il cedimento (o sollevamento) differenziale, cioè lo spostamento verticale relativo di un punto rispetto ad un altro;
- si definisce rotazione θ (Fig.a) la variazione dell'inclinazione della retta congiungente due punti situati sul piano di fondazione;
- si definisce ω (Fig.b) la rotazione rigida della sovrastruttura o di una sua parte; quando la struttura è soggetta anche a flessione, la valutazione della rotazione rigida risulta più difficile;
- si definisce distorsione angolare o rotazione relativa β la variazione d'inclinazione della retta congiungente due punti depurata della rotazione rigida (Fig.b); nelle strutture intelaiate, β rappresenta la rotazione di un elemento relativamente all'intera struttura;
- si indica con α la deformazione angolare della struttura nel punto considerato. Si assume la deformazione angolare positiva se dà luogo a concavità verso l'alto (sagging), negativa se dà luogo a concavità verso il basso (hogging);
- si definisce inflessione Δ lo spostamento verticale massimo del punto considerato rispetto alla retta congiungente due punti di riferimento. L'inflessione si assume positiva se la concavità è rivolta verso l'alto, negativa se è rivolta verso il basso;
- si definisce inflessione relativa Δ/L (Fig.d) il rapporto tra l'inflessione Δ e la lunghezza L del segmento che unisce i due punti di riferimento.

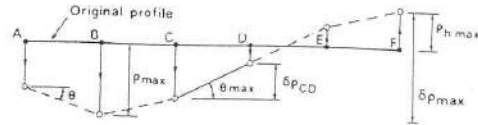


Figure 1a Definitions of settlement p , relative settlement δp and rotation θ

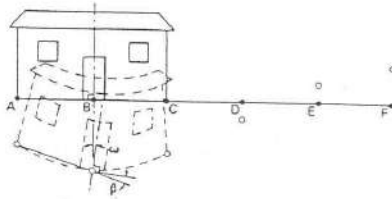


Figure 1b Definitions of tilt ω and relative rotation (angular distortion) β

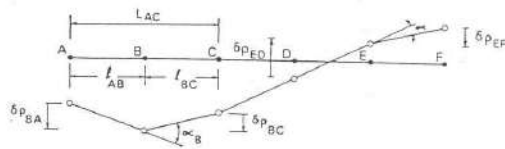


Figure 1c Definition of angular strain α

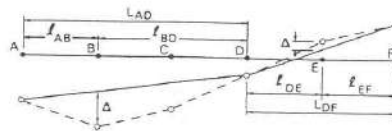



Figure 1d Definition of relative deflection (sag or hog) Δ and deflection ratio (sagging or hogging) Δ/L

Fig. 9 (Burland e Wroth, 1974)

11.2.4 Classificazione del danno

Per la valutazione del rischio di danno agli edifici causato dai movimenti del terreno è indispensabile introdurre un sistema oggettivo di classificazione del danno.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Un sistema di classificazione per le strutture in muratura è stato introdotto per la prima volta nel Regno Unito da Burland et al. (1977) e successivamente adottato dalla "Institution of Structural Engineers" (1978, 1989 a 1994) e dalla "Institution of Civil Engineers" (Freeman et al., 1994).

In tale classificazione (Fig.seguente) vengono considerati i danni visibili sugli elementi dell'edificio e si fa riferimento alla facilità di riparazione senza tenere conto delle possibili cause e dell'evoluzione delle lesioni nel tempo. Sono individuate sei categorie di danno numerate da 0 a 5 al crescere della severità ed è indicata l'ampiezza delle fessure per ciascuna categoria. Generalmente le categorie 0,1 e 2 corrispondono al danno estetico, le categorie 3 e 4 al danno funzionale, la categoria 5 al danno strutturale.

La classificazione è stata sviluppata esclusivamente per edifici in mattoni, muratura o pietrame e non può essere applicata al comportamento di elementi strutturali in cemento armato.

Per poter stimare il rischio di danno cui è soggetto un edificio, è necessario stabilire delle correlazioni tra le categorie di danno ora introdotte e dei parametri che descrivano il livello di deformazione nella struttura.

11.3 Deformazione critica e deformazione limite di trazione

Nella maggioranza dei casi il danno agli edifici consiste nella formazione di fessure nei rivestimenti e nelle finiture, senza che siano intaccati gli elementi strutturali. Tali fessure sono di solito una conseguenza delle deformazioni di trazione indotte dai movimenti del terreno.

Polshin a Tokar (1957) hanno introdotto il concetto di deformazione "critica" di trazione ε_{crit} come la deformazione media associata all'inizio della formazione di lesioni visibili in un dato materiale indipendentemente dalle modalità con cui si sviluppano le deformazioni.


Sulla base degli studi condotti su vasta scala presso la U.K. Building Research Establishment, Burland a Wroth (1974) hanno tratto le seguenti conclusioni:

- per edifici in muratura la ε_{crit} assume valori compresi fra 0.05% a 0.1%;
- per elementi strutturali in cemento armato la formazione di fessure visibili si verifica per valori della deformazione più bassi, tipicamente nell'intervallo 0.03%=0.05%.

Tali valori sono quelli medi misurati su una lunghezza campione di 1 m o più. La valutazione della deformazione di trazione locale è estremamente complessa in quanto le sollecitazioni non sono uniformi.

Occorre considerare il fatto che l'inizio della formazione di lesioni visibili non rappresenta necessariamente la perdita di funzionalità dell'edificio: se la fessurazione è controllata, come avviene in una trave di cemento armato, si può accettare che la struttura continui a deformarsi ben oltre il valore critico.

Successivamente Burland et al. (1977) hanno sostituito il concetto di deformazione "critica" di trazione con quello di deformazione "limite" di trazione. La ε_{lim} è un parametro che può essere variato per un dato materiale in modo da definirne gli stati limite di servizio.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Boscardin a Cording (1989) hanno mostrato che le categorie di danno (specificate in fig. seguente) possono essere poste in relazione a degli opportuni campi di variazione di ϵ_{lim} , come mostra la Tab. seguente:

Tab.

Category of damage	Normal degree of severity	Limiting tensile strain (ϵ_{lim}) (%)
0	Negligible	0 - 0.05
1	Very slight	0.05 - 0.075
2	Slight	0.075 - 0.15
3	Moderate	0.15 - 0.30
4 to 5	Severe to very severe	> 0.3

TABLE 1
Classification of visible damage to walls with particular reference to ease of repair of plaster and brickwork or masonry


Category of damage	Normal degree of severity	Description of typical damage (Ease of repair is underlined) <small>Note: Crack width is only one factor in assessing category of damage and should not be used on its own as a direct measure of it.</small>
0	Negligible	Hairline cracks less than about 0.1mm
1	Very Slight	<u>Fine cracks which are easily treated during normal decoration.</u> Damage generally restricted to internal wall finishes. Close inspection may reveal some cracks in external brickwork or masonry. Typical crack widths up to 1mm.
2	Slight	<u>Cracks easily filled</u> <u>Re-decoration probably required</u> <u>Recurrent cracks can be masked by suitable linings.</u> Cracks may be visible externally and <u>some repointing may be required to ensure weathertightness.</u> Doors and windows may stick slightly. Typical crack widths up to 5mm.
3	Moderate	<u>The cracks require some opening up and can be patched by a mason.</u> <u>Repointing of external brickwork and possibly a small amount of brickwork to be replaced.</u> Doors and windows sticking. Service pipes may fracture. Weathertightness often impaired. Typical crack widths are 5 to 15mm or several up to 3mm.
4	Severe	<u>Extensive repair work involving breaking-out and replacing sections of walls, especially over doors and windows.</u> Windows and door frames distorted, floor sloping noticeably ¹ . Walls leaning ¹ or bulging noticeably. some loss of bearing in beams. Service pipes disrupted. Typical crack widths are 15 to 25mm but also depends on the number of cracks.
5	Very severe	<u>This requires a major repair job involving partial or complete rebuilding.</u> Beams lose bearing, walls lean badly and require shoring. Windows broken with distortion. Danger of instability. Typical crack widths are greater than 25mm but depends on the number of cracks.

¹ Note: Local deviation of slope, from the horizontal or vertical, of more than 1/100 will normally be clearly visible. Overall deviations in excess of 1/150 are undesirable.

Fig. 10 (Burland et al., 1977)

11.4 Deformazioni nella trave rettangolare

Per studiare il fenomeno della fessurazione, Burland e Wroth (1974) hanno usato il concetto di deformazione limite di trazione, ipotizzando che il comportamento degli edifici possa essere assimilato a quello di una trave elastica rettangolare priva di peso proprio. In questa ipotesi, se si conosce la deformata delle fibre di intradosso (cioè il profilo trasversale dei cedimenti del terreno), si possono valutare le deformazioni di trazione e si può stabilire quando ha inizio la fessurazione.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

I risultati ottenuti dallo studio di tale modello estremamente semplificato si sono rivelati in buon accordo con le misure di deformazione effettuate su edifici reali.

Generalmente la trave in oggetto è soggetta contemporaneamente a flessione e taglio ma, poiché quando sono presenti entrambe le sollecitazioni è difficile stabilire quale sia l'influenza sulla deformazione dell'una o dell'altra, si studiano separatamente le due situazioni ideali in cui è presente solo il momento o solo il taglio per stabilire quale delle due è più sfavorevole per la struttura.

Quando la trave è soggetta a flessione, la fessurazione è legata alle deformazioni di trazione massime che si verificano agli estremi della sezione. Quando la trave è soggetta a taglio, le deformazioni massime di trazione sono diagonali per cui le lesioni che si formano sono inclinate a 45°.

L'edificio viene schematizzato mediante una trave rettangolare priva di peso proprio di larghezza L, altezza H, momento d'inerzia I, dotata di rigidezza a flessione a taglio (moduli E e G). In queste condizioni Timoshenko (1957) ha fornito l'espressione dell'inflessione Δ prodotta da un carico concentrato P applicato in mezzzeria:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \cdot \left\{ 1 + \frac{18EI}{L^2HG} \right\} \quad (21)$$

Sebbene l'equazione si riferisca a una trave soggetta ad un carico concentrato applicato in mezzzeria, si può dimostrare che il comportamento della trave è sostanzialmente lo stesso nel caso in cui il carico sia uniformemente distribuito.


L'equazione (21) può essere riscritta in termini della deformazione massima della fibra estrema $\epsilon_{b\max}$:

$$\frac{\Delta}{L} = \left\{ \frac{L}{12x} + \frac{3EI}{2xLHG} \right\} \epsilon_{b\max} \quad (22)$$

o della massima deformazione diagonale $\epsilon_{d\max}$:

$$\frac{\Delta}{L} = \left\{ 1 + \frac{HL^2G}{18EI} \right\} \epsilon_{d\max} \quad (23)$$

dove x è la distanza della fibra estrema dall'asse neutro. Le equazioni precedenti rappresentano il comportamento di una trave soggetta rispettivamente a flessione pura o a taglio.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Ponendo $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{\lim}$, le equazioni (22) e (23) definiscono i valori limite di Δ/L per una trave a cui venga imposta una deformata di inflessione. Per un assegnato valore di ε_{\lim} , il valore limite di Δ/L dipende da L/H , E/G e dalla posizione dell'asse neutro.

Poiché anche gli spostamenti orizzontali del terreno contribuiscono al danneggiamento delle strutture, Boscardin e Cording (1989) hanno studiato il comportamento dell'edificio nell'ipotesi di deformazione orizzontale ε_h uniforme sulla sezione. Nell'analisi del problema hanno assunto il modello di trave rettangolare ed hanno valutato la deformazione risultante utilizzando il principio di sovrapposizione degli effetti.

Nel caso di trave soggetta a sola flessione, la deformazione massima risultante (localizzata nella fibra estrema della sezione) è data dall'espressione:

$$\varepsilon_{br} = \varepsilon_{b\max} + \varepsilon_h \quad (24)$$

Le deformazioni di taglio possono essere combinate con le deformazioni orizzontali attraverso il cerchio di Mohr:

$$\varepsilon_{dr} = \varepsilon_h \cdot \left(\frac{1-\nu}{2} \right) + \sqrt{\varepsilon_h^2 \cdot \left(\frac{1+\nu}{2} \right)^2 + \varepsilon_{d\max}^2} \quad (25)$$

La massima deformazione di trazione ε_{\max} è data dalla maggiore tra ε_{br} e ε_{dr} . Essa è di solito localizzata nella zona *hogging*, dove le deformazioni orizzontali sono di trazione.


Una volta determinata ε_{\max} il suo valore può essere utilizzato per stabilire la categoria di danno mediante la Tab.2.

Adottando i valori di ε_{\lim} associati alle varie categorie di danno (Tab.2), può essere sviluppato un diagramma di interazione che mostri la relazione tra Δ/L ed ε_h per un particolare valore di L/H . In questo modo si ottiene la classificazione del danno proposta da Burland (1995).

11.4.1 Modalità di deformazione per le diverse tipologie strutturali

A seconda della tipologia strutturale si distinguono comportamenti diversi degli edifici.

Strutture intelaiate flessibili e murature portanti armate sono generalmente soggette a distorsione sotto l'effetto di sforzi di taglio. La misura delle deformazioni è legata al valore della distorsione angolare β , intesa come rotazione di un elemento relativamente all'intera struttura; essa dipende dalla posizione dell'edificio rispetto al profilo di subsidenza. Se l'edificio si trova nella parte *hogging* del profilo, l'effetto complessivo è

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

dato dalla combinazione delle distorsioni e delle deformazioni orizzontali di trazione dovute rispettivamente agli spostamenti verticali e orizzontali del terreno.

Le pareti portanti non armate hanno scarsa resistenza a trazione, e si deformano in genere seguendo il profilo della superficie del terreno, in questo caso i danni sono associati prevalentemente all'azione delle sollecitazioni flessionali. La stima delle deformazioni dell'edificio è basata sul valore del rapporto d'inflexione Δ/L . Tuttavia, all'aumentare del numero delle aperture presenti nelle pareti (porte, etc.), gli elementi strutturali diventano sempre più vulnerabili al taglio e le prime lesioni che si formano sono dovute a sollecitazioni diagonali di trazione.

Boscardin e Cording (1989), in uno studio sul comportamento delle strutture a muratura portante, hanno dedotto che in genere la deformazione dell'edificio è dovuta alla combinazione di flessione a taglio, ma con prevalenza delle deformazioni di taglio.

11.4.2 Procedimento di valutazione del danno

Come detto in precedenza, per la previsione dei movimenti del terreno indotti dallo scavo di una galleria e/o da scavi tra paratie, si adotta di solito un approccio empirico basato su misure effettuate in condizioni di "greenfield".

Gli effetti dei movimenti del terreno su un edificio preesistente vengono valutati nell'ipotesi che l'edificio sia infinitamente flessibile e si deformi seguendo il profilo della conca di subsidenza.

Per la previsione del danno si utilizzano parametri facilmente determinabili in base alla forma del profilo di subsidenza ed alla posizione occupata dall'edificio, i quali vengono confrontati con i valori limite proposti dai criteri di classificazione del danno.

Nel seguito è descritta la metodologia adottata in questa sede per la previsione del rischio di danno agli edifici.


11.4.2.1 Il rischio di danno

Il termine "il livello di rischio", o semplicemente "il rischio" di danno si riferisce al possibile grado di danno.

Per la maggior parte degli edifici si può parlare di "basso rischio" se il grado di danno previsto cade in una delle prime due categorie (0,1). In queste condizioni è preservata l'integrità strutturale e il danno può essere riparato in modo semplice ed economico.

Il passaggio dalla seconda alla terza categoria di danno (da livello 1 a livello 2) è particolarmente importante: obiettivo del progetto e della costruzione sarà quello di mantenere per tutti gli edifici il livello di rischio entro la seconda categoria, prestando maggior attenzione a quegli edifici giudicati di particolare sensibilità.

Una prima valutazione di tipo speditivo e cautelativo può essere svolta considerando la massima rotazione alla quale è sottoposto l'edificio. Essa deriva dal massimo cedimento differenziale che può aver luogo in qualunque parte al di sotto dell'area d'impronta della struttura, e non coincide necessariamente con la massima inclinazione del profilo di subsidenza del terreno. Sebbene tale parametro non fornisca una misura

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

diretta della deformazione della struttura, esso consente di suddividere la superficie del terreno in zone caratterizzate da un diverso livello di rischio.

Semplici considerazioni geometriche permettono di ricavare relazioni approssimate tra la massima inclinazione θ_b dell'edificio, e la rotazione relativa β o il rapporto d'inflessione Δ/L . Tali relazioni variano a seconda della posizione dell'edificio rispetto al profilo trasversale di cedimento.

Considerando edifici situati nella zona in cui gli effetti sono potenzialmente più severi, cioè la parte *hogging* del profilo, possono ritenersi valide le relazioni riportate in Fig. seguente, dalle quali si deduce che θ_b corrisponde a 2÷4 volte la distorsione angolare β oppure a 6÷8 volte l'inflessione relativa Δ/L (Lake et al., 1992).

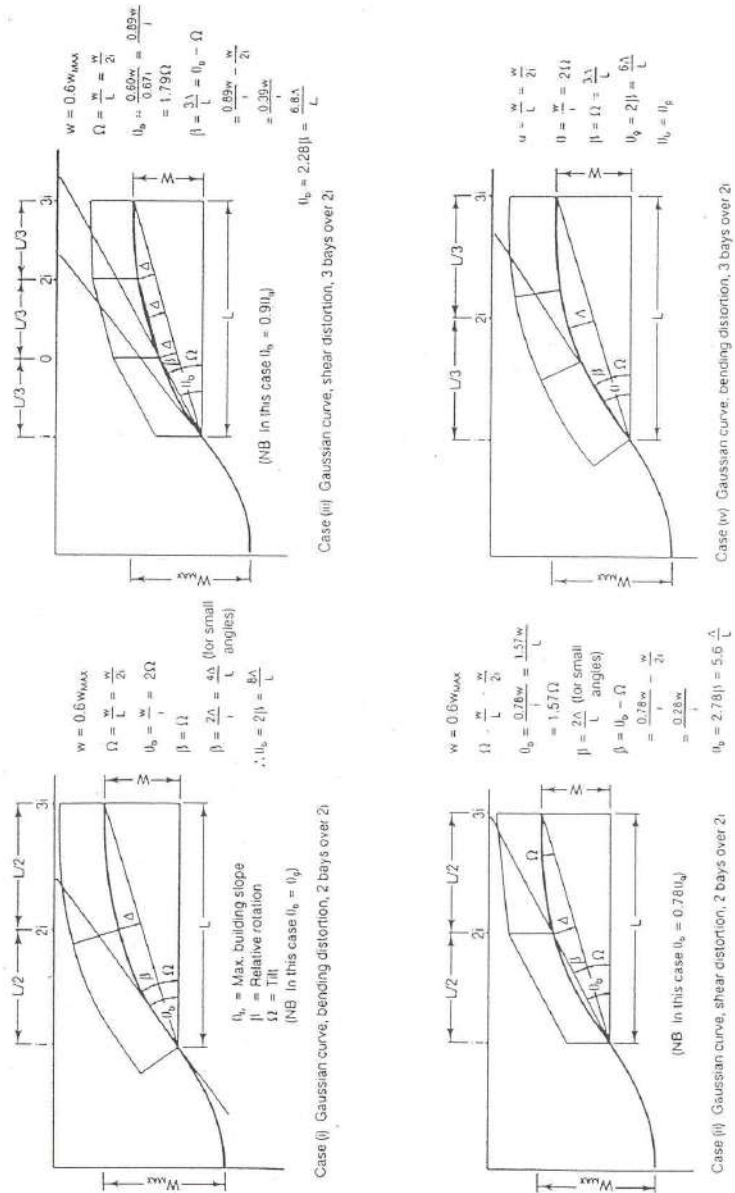



Fig.11 (Lake et al., 1992)

Questi rapporti sono utilizzati per ricavare relazioni tra il possibile danno e la massima rotazione dell'edificio, come mostrato in Tab. seguente.


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Type of structure (depends on L/H ratio)	Range of values for maximum slope θ_b
a) Framed buildings and reinforced load-bearing walls	
Cracking	1/250 - 1/375
Structural damage	1/75 - 1/125
b) Unreinforced load-bearing walls	
Cracking	1/310 - 1/625

La Tab. seguente riporta valori tipici della rotazione massima che sono stati utilizzati per scopi progettuali.

Risk category	Maximum slope of building	Maximum settlement of building (mm)	Description of risk
1	<1/500	<10	<i>Negligible:</i> superficial damage unlikely.
2	1/500 – 1/200	10-50	<i>Slight:</i> possible superficial damage which is unlikely to have structural significance.
3	1/200 – 1/50	50-75	<i>Moderate:</i> expected superficial damage and possible structural damage to buildings, possible damage to relatively rigid pipelines.
4	>1/50	>75	<i>High:</i> expected structural damage to buildings and expected damage to rigid pipelines or possible damage to other pipelines.

Si può osservare che qualora il cedimento massimo al di sotto dell'edificio si mantenga inferiore a 10 mm, o la massima rotazione che subisca il profilo del terreno in corrispondenza del fabbricato si mantenga inferiore ad 1/500, il rischio di danno si può ritenere trascurabile.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Una valutazione più rigorosa viene svolta assumendo per l'edificio il modello di trave rettangolare elastica isotropa introdotto precedentemente; la categoria di danno cui appartiene l'edificio viene valutata in funzione dei valori dell'inflessione relativa Δ/L e della deformazione orizzontale massima ε_h , sulla base delle curve di uguale intensità di danno definite da Boscardin e Cording (1989).

Tale approccio, per quanto più dettagliato di quello usato nella valutazione preliminare, è ancora conservativo in quanto, riferendosi a condizioni di "green field", trascura l'interazione terreno-struttura. Infatti, si assume che l'edificio si adatti al profilo dei cedimenti come se fosse privo di rigidità rispetto al terreno.

In realtà la rigidità della sovrastruttura e delle fondazioni comporta l'attenuazione del fenomeno della subsidenza con conseguente diminuzione del rapporto d'inflessione e delle deformazioni orizzontali.

Se una struttura ricade nella categoria 2 o in una categoria superiore si ritiene necessario ricorrere a misure protettive.

11.4.3 Applicazione al caso in oggetto

Nei casi oggetto di studio sono stati seguiti i due approcci:


- Sono stati valutati i cedimenti e le rotazioni massime al piano di campagna in corrispondenza dei fabbricati per confrontarli con i valori limiti precedentemente riportati;
- Sono state valutate le categorie di danno in rapporto alla distorsione angolare che subisce il fabbricato ed alla deformazione orizzontale massima ε_h .

La valutazione della categoria di danno è stata effettuata implementando le formulazioni sopra specificate mediante un apposito codice di calcolo.

Sulla base dell'andamento del terreno nella conca di subsidenza e della posizione dell'edificio, sono stati calcolati per ogni edificio:

- il massimo cedimento assoluto subito dall'edificio;
- la massima inflessione (Δ) subita dall'edificio;
- la massima distorsione angolare $\beta = MAX(\varphi_{terr.} - \varphi_{rig.})$, ovvero la massima differenza tra la rotazione del terreno nell'intervallo individuato dalla posizione delle estremità dell'edificio, e la rotazione rigida dell'edificio stesso;
- la massima deformazione orizzontale che coinvolge l'edificio (in condizione di trazione);
- le deformazioni di trazione per comportamento flessionale e tagliante della trave ideale;
- le deformazioni critiche di trazione dovuta a flessione e taglio.

La classificazione del danno avviene sulla base del diagramma di Boscardin e Cording (1989), che mette in relazione la distorsione angolare (β) con la deformazione orizzontale (ε_h) dell'edificio, e del diagramma di Burland ed al. (1995) che si basa esclusivamente sul valore della deformazione limite (ε_{lim}) caratteristica dell'edificio.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

L'obiettivo è quello di pervenire ad una stima qualitativa del danno previsto, in maniera di determinare un classe di edifici presumibilmente critici, classe superiore alla 1, per cui è necessario prevedere alcune misure di protezione preventive agli scavi della galleria.

Di seguito si riportano i risultati dei calcoli svolti:

ANALISI DEGLI EFFETTI SUGLI EDIFICI

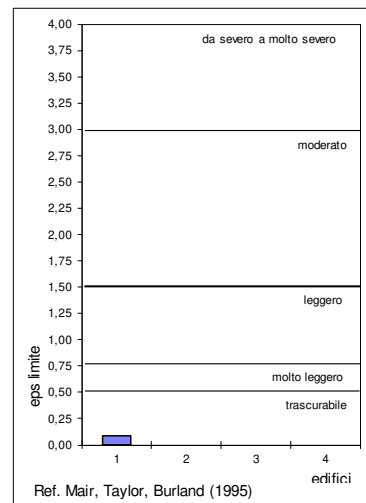
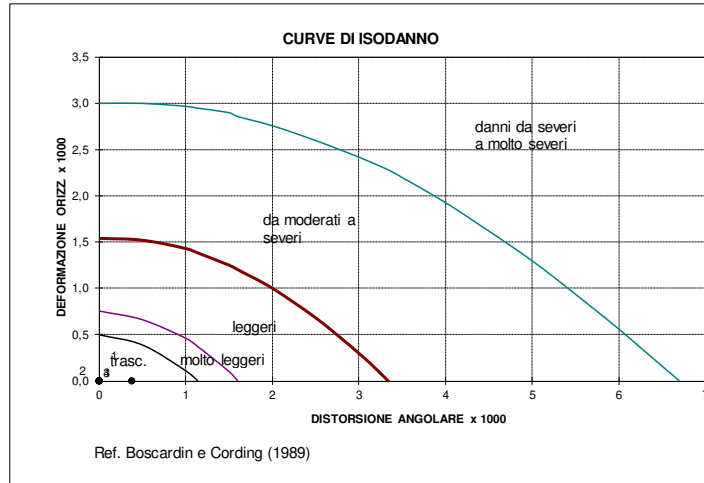
GALLERIA CHIGHIZZU

PR. 4+640 dx


DATI DI INPUT EDIFICIO		EDIF1	EDIF2	EDIF3	EDIF4
DISTANZA INIZIALE (Xi)	m	-9,00			
DISTANZA FINALE (Xf)	m	6,00			
ALTEZZA (H)	m	10,00			
RAPPORTO E/G (1)		12,5			
CEDIMENTO DIFFERENZIALE AMM. w_{amm}	mm	10			
DISTORSIONE ANGOLARE AMM. F_{amm}	1/	500			
DEFORMAZIONE CRITICA AMM. θ_{amm}	x 1000	0,75			
RISULTATI					
MAX CEDIMENTO ASSOLUTO	mm	8,3			
MAX CEDIMENTO DIFFERENZIALE w_0	mm	1,4			
MAX DISTORSIONE ANGOLARE F_{build} (2)	1/	2648			
MAX DEFORMAZIONE ORIZZONTALE	x 1000	0,00			
DEFORMAZIONE CRITICA DI TRAZ θ_{lim}	x 1000	0,09			
VERIFICHE					
$w_0 < w_{amm}$		OK!			
$F_{build} < F_{amm}$		OK!			
$\theta_{lim} < \theta_{amm}$		OK!			

**ANALISI DEGLI EFFETTI SUGLI EDIFICI
 GALLERIA CHIGIZZU**

CATEGORIE DI DANNO DEGLI EDIFICI



Categoria di danno	livello di gravità	Descrizione dei danni tipicamente osservati
0	trascurabile	fessure capillari di circa 0,1 mm
1	molto leggero	fessure molto fini di amp. fino a 1 mm trattate con riparazioni locali
2	leggero	fessure di ampiezza fino a 5 mm, stuccatura e ripar. delle impermeabilizzazioni
3	moderato	fessure di ampiezza da 5 a 15 mm o isolate di amp. fino a 30 mm. (Problemi alle tubazioni, impear., infissi)
4	severo	fessure di ampiezza da 15 a 25 mm. Danni estesi agli infissi, tubazioni fuori ser. Qualche danno alle strut. portanti
5	molto severo	fessure di ampiezza oltre 25 mm. Danni estesi alle strut. portanti. Richiede parziale o totale ricostruz.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

ANALISI DEGLI EFFETTI SUGLI EDIFICI

GALLERIA CHIGHIZZU

PR. 4+720 dx

DATI DI INPUT EDIFICIO		EDIF2	EDIF3	EDIF4
DISTANZA INIZIALE (Xi)	m	-25,00		
DISTANZA FINALE (Xf)	m	-9,00		
ALTEZZA (H)	m	10,00		
RAPPORTO E/G (1)		12,5		
CEDIMENTO DIFFERENZIALE AMM. W_{amm}	mm	10		
DISTORSIONE ANGOLARE AMM. F_{amm}	1/	500		
DEFORMAZIONE CRITICA AMM. θ_{amm}	x 1000	0,75		
RISULTATI				
MAX CEDIMENTO ASSOLUTO	mm	6,7		
MAX CEDIMENTO DIFFERENZIALE w_0	mm	1,1		
MAX DISTORSIONE ANGOLARE F_{build} (2)	1/	3768		
MAX DEFORMAZIONE ORIZZONTALE	x 1000	0,00		
DEFORMAZIONE CRITICA DI TRAZ θ_{lim}	x 1000	0,00		
VERIFICHE				
$w_0 < W_{amm}$		OK!		
$F_{build} < F_{amm}$		OK!		
$\theta_{lim} < \theta_{amm}$		OK!		

Per gli edifici considerati caratterizzati da una copertura sufficiente rispetto alla galleria non si ravvisano rischi di danni.

In ogni modo si è previsto un monitoraggio delle due strutture che viene descritto nella relazione tecnica generale della galleria (elab. CA357_P00GN02GENRE01_A).

12 VIBRAZIONI INDOTTE DALLE OPERAZIONI DI SCAVO

Il presente capitolo analizza gli effetti delle operazioni di realizzazione della galleria naturale, in termini di vibrazioni indotte sui manufatti disposti in prossimità dalle operazioni meccaniche di scavo.

12.1 Legislazione di riferimento


A causa della carenza legislativa italiana è usuale riferirsi alle normative dei paesi europei, in particolare alla DIN 4150 tedesca ed alla normativa svizzera.

Tutte le norme stabiliscono dei valori limite di velocità delle particelle in funzione di diversi parametri, al fine della salvaguardia delle strutture relativamente al primo livello di danno, il cosiddetto danno di tipo "cosmetico".

Esso consiste in una leggera fessurazione degli intonaci, che si manifesta in corrispondenza di giunzioni tra pareti, angoli delle porte o delle finestre, etc.

In questa sede la normativa alla quale si farà riferimento è quella Svizzera (Norma svizzera "Norm Sn 640312a, aprile 1992").

In tal caso, il valore di soglia si riferisce al vettore velocità, che è funzione anch'esso del tipo di struttura, delle frequenze dell'onda e del numero di sismi ai quali il manufatto può essere assoggettato.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Questo, rende innovativa tale legislazione, perché è la prima ad assumere come parametro fondamentale ai fini della sicurezza il numero dei sismi, in modo da considerare, seppur sommariamente, gli effetti di fatica sulle strutture.

Lo standard svizzero prevede quattro classi di manufatti costituiti da diversi tipi e tipologie costruttive, sia in superficie sia in sotterraneo.

La classifica tecnica è riportata nelle tabelle seguenti, mentre per quanto riguarda il numero dei sismi i campi individuati sono appresso riportati:


- $1 < n < 1000$
- $1000 < n < 100000$
- $n > 100000$

i campi di frequenza sono i seguenti:

- $f \text{ (Hz)} < 30$
- $30 < f \text{ (Hz)} < 60$
- $f \text{ (Hz)} > 60$

NORMATIVA SVIZZERA

Tipo d'edificio	Numero sismi	Valore ammissibile della velocità (mm/s)		
		< 30 Hz	(30-60) Hz	> 60 Hz
Pochissimo sensibile (1)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	Valori fino a tre volte i corrispondenti limiti della classe (3)		
Poco sensibile (2)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	Valori fino a due volte i corrispondenti limiti della classe (3)		
Normale (3)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	15 6 3	20 8 4	30 12 6
Molto sensibile (4)	Occasionali < 1000 Frequenti < 100000 Permanenti >10000	Valori tra i corrispondenti della classe (3) e la metà		

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Classe di costruzione	Costruzioni superficiali	Costruzioni profonde
(1) Pochissimo sensibile		Ponti in c.a. o in ferro fondazioni in c.a., cls, solide mura gallerie grandi vuoti, pozzi in roccia dura o roccia scedente ben consolidata fondazioni di macchine tubazioni robuste in superficie
(2) Poco sensibile	Strutture industriali in c.a., o in acciaio, senza intonaco silos, torri in muratura o in ferro	Gallerie, camere, pozzi in roccia tenera parcheggi sotterranei condutture (gas, acqua, etc.) muri a secco
(3) Normale	Abitazioni con struttura in c.a., in cls. o in pietra chiese in muratura con intonaco	Serbatoi condutture in ghisa strutture viarie in gallerie
(4) Molto sensibile	Monumenti, edifici protetti ristrutturazioni recenti negli edifici di classe 3 abitazioni con stucchi in gesso	Vecchie strutture in ghisa

Come è possibile evincere, la normativa svizzera identifica un notevole numero di strutture che ne rendono agevole l'uso e meno indeterminata la tipologia del manufatto.

12.2 Limiti ammissibili di sismicità

Sulla base di quanto sopra, è possibile proporre una tabella che fissa i valori di soglia del picco della velocità delle particelle in funzione della struttura considerata.

La frequenza delle vibrazioni dipende dalle caratteristiche dei materiali sia in corrispondenza del punto di esplosione che in corrispondenza della zona di rilevazione, e varia in funzione della distanza dal punto di scoppio.

La frequenza di dette vibrazioni risulta notevolmente elevata quando l'onda interessa formazioni di roccia compatta.


In via sperimentale è stato rilevato che la legge di variazione della frequenza principale, in funzione della distanza R, è di tipo logaritmico:

$$f(\text{Hz}) = kf (\log R)^{-1}$$

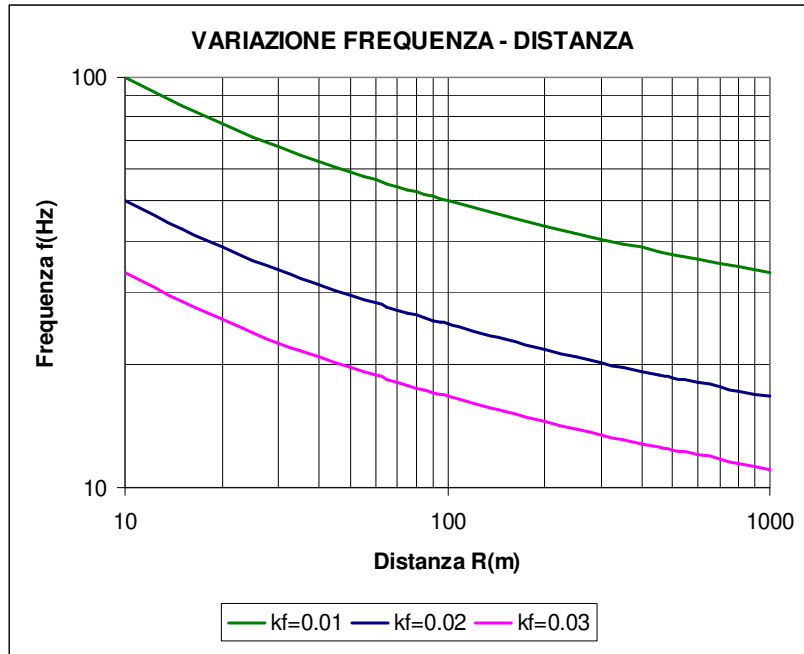
essendo kf un coefficiente dipendente dalle caratteristiche dei terreni. Nel caso di rocce dure e compatte si ha:

$$kf = 0.01 - 0.03$$

Alla formazioni marnose di interesse, in via cautelativa, può essere attribuito un valore pari a 0.01-0.02.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

Di seguito è diagrammato l'andamento della frequenza in funzione distanza R per diversi valori di kf:




Tenuto conto delle caratteristiche della roccia in posto, si può fare riferimento al seguente campo di frequenze:

- ✓ Frequenze > 60 Hz per distanze inferiori a 50 m;
- ✓ Frequenze comprese tra 30 e 60 Hz per distanze comprese tra 50 e 100 m;
- ✓ Frequenze < 30 Hz per distanze maggiori di 100 m.

Per quanto attiene le "Classi di costruzione", i fabbricati adibiti ad uso residenziale con strutture in c.a., acciaio o muratura sono classificati come strutture "Normali". Le gallerie, che risultano meno vulnerabili all'effetto dei sismi, sono classificate come "poco sensibili".

Facendo riferimento alla normativa svizzera, ed al caso di "strutture "normali", considerando un numero di sismi di tipo "frequente" nel caso di **abbattimento della roccia con martellone**, si ottengono i seguenti Limiti ammissibili di sismicità:

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione di calcolo	

Tipologia struttura	Classe Costruzione	Distanza (m)	
		50 < R(m) < 100	R(m) < 50
		Frequenza (Hz)	
		30 - 60	> 60
		Vettore velocità (mm/s)	
Edifici	3	4	6
Galleria	2	8	12

La velocità massima di vibrazione indotta da scavi con martello demolitore può essere determinata in funzione della distanza punto di misura – sorgente, attraverso relazioni sperimentali esprimibili nella forma:

$$v = k \times D^{-n}$$

essendo k e n coefficienti adimensionali valutati sperimentalmente, e dipendenti dall'energia del martello demolitore e dal tipo di terreno.

Nel caso specifico, in via preliminare si è fatto affidamento alle seguenti relazioni riportate in letteratura:

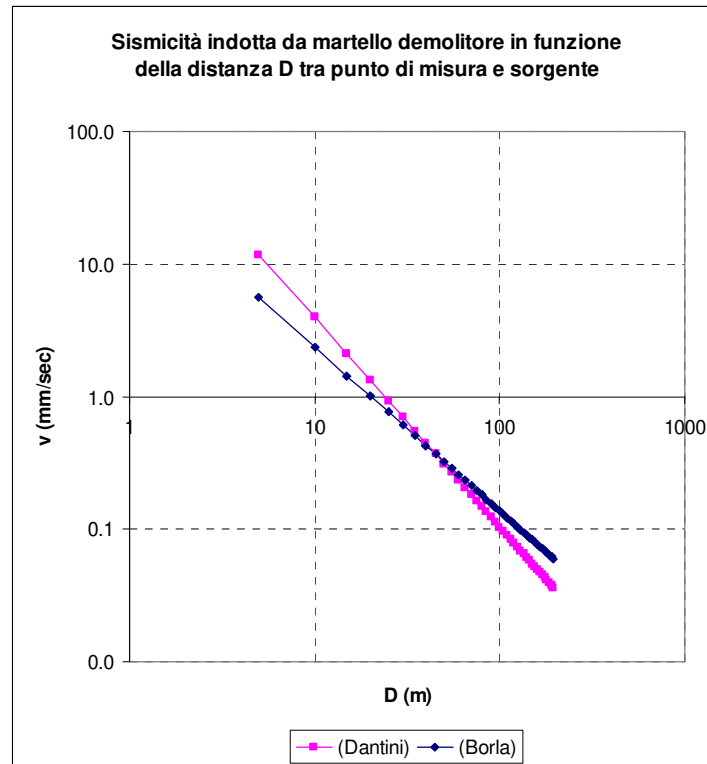
- Demolitori in galleria:

$$v = 150 D^{-1.58} \quad (1) \text{ (Dantini)}$$

$$v = 41.4 D^{-1.24} \quad (2) \text{ (Borla et. Al.)}$$

Nelle precedenti relazioni il vettore velocità v è espresso in mm/sec, la distanza D in m e la quantità di carica cooperante in kg.

Il grafico seguente riporta le velocità indotte in funzione della distanza sorgente – punto di misura, ottenute utilizzando le relazioni (1) e (2):




È possibile osservare quanto segue:

- ✓ I risultati ottenuti utilizzando le due formule sono confrontabili;
- ✓ Le velocità indotte sulla canna della galleria adiacente in esercizio disposta a distanza di circa un diametro equivalente (13 m circa), sono compatibili con i valori limiti assunti, 2,6 - 1,7 mm/s <12 mm/s.
- ✓ Le velocità indotte agli edifici nelle vicinanze, disposti a distanza di circa 30 m nel punto più sfavorito, sono compatibili con i valori limiti assunti, 0,7-0,6 mm/s <6mm/s.

13 CONCLUSIONI

Nelle presente relazioni si sono verificati con successo tanto i rivestimenti provvisori che quelli definitivi delle sezioni tipo previste per la galleria naturale Chighizzu.

Sono state valutate le possibili interferenze con gli edifici esistenti non ravvisando rischi di danno, in ogni modo si è previsto un monitoraggio delle due strutture che viene descritto nella relazione tecnica generale della galleria (elab. CA357_P00GN02GENRE01_A).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

14 ALLEGATI

14.1 Metodo semi-empirico di Tamèz

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=45 C=65**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	65,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	60,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	56,5
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	56,5
angolo d'attrito	ϕ	deg	16,1
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad h1 = 23,953$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 7,82

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = 115,0$$

$$\tau_{m2} = 631,8$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{K_a}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2 \sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 1,65$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 3,83$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=45 C=60**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	60,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	55,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	54,2
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	54,2
angolo d'attrito	ϕ	deg	16,5
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad \quad \quad h1 = \quad \quad \quad 23,953$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 7,76

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = \quad \quad \quad 106,7$$

$$\tau_{m2} = \quad \quad \quad 575,7$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{K_a}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2 \sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad \quad \quad 1,63$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad \quad \quad 3,85$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=45 C=50**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	50,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	45,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	49,5
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	49,5
angolo d'attrito	ϕ	deg	17,3
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad h1 = 23,953$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$\text{profondità del cuneo frontale} \quad l \quad \text{m} \quad 7,64$$

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\} \text{tg } \phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = 89,3$$

$$\tau_{m2} = 462,8$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{K_a}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2 \sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 1,57$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 3,87$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=45 C=40**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	40,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	35,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	44,3
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	44,3
angolo d'attrito	ϕ	deg	18,4
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h_1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h_1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad h_1 = 40$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 7,50

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h_1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\} \tan \phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h_1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = 44,3$$

$$\tau_{m2} = 93,7$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h_1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{K_a}} \frac{h_1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 0,96$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h_1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 4,01$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=45 C=30**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	15,69
altezza dello scavo	h	m	11,19
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	30,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,00
profondità della falda	w	m	25,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	38,7
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	38,7
angolo d'attrito	ϕ	deg	19,7
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_{h0} / \sigma_{v0}$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad h1 = 30$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 7,88

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\} \text{tg } \phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = 38,7$$

$$\tau_{m2} = 76,5$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{K_a}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2 \sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 0,77$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 4,12$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=45 C=20**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	15,69
altezza dello scavo	h	m	11,19
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	20,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,00
profondità della falda	w	m	z

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	32,4
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	32,4
angolo d'attrito	φ	deg	21,5
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente Ka =σh/σv	Ka		0,50
coefficiente K0 =σh0/σv0	K0		0,50
pressione interstiziale	u	kPa	#VALORE!

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad h1 = 20$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 7,61

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = 32,4$$

$$\tau_{m2} = 57,4$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 0,77$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 3,45$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=45 C=10**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	15,69
altezza dello scavo	h	m	11,19
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	10,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,00
profondità della falda	w	m	z

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	20,0
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	25,2
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	25,2
angolo d'attrito	ϕ	deg	24,3
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		0,50
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$	K_0		0,00
pressione interstiziale	u	kPa	#VALORE!

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h_1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h_1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad h_1 = 10$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 7,23

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h_1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\} \operatorname{tg} \phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h_1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = 25,2$$

$$\tau_{m2} = 25,2$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h_1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{K_a}} \frac{h_1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 0,58$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h_1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 2,68$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=55 C=65.0m**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	65,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	60,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	19,9
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	132,9
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	132,9
angolo d'attrito	ϕ	deg	28,1
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_{h0} / \sigma_{v0}$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad h1 = 23,953$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$\text{profondità del cuneo frontale} \quad l \quad \text{m} \quad 6,23$$

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = 240,5$$

$$\tau_{m2} = 836,3$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = 2,51$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = 8,06$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=55 C=60.0m**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	60,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	55,00

PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	19,9
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	128,0
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	128,0
angolo d'attrito	ϕ	deg	28,6
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_{h0} / \sigma_{v0}$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad \quad \quad h1 = \quad \quad 23,953$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$\text{profondità del cuneo frontale} \quad l \quad \text{m} \quad \quad \quad 6,17$$

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = \quad \quad \quad 224,3$$

$$\tau_{m2} = \quad \quad \quad 773,4$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad \quad \quad 2,51$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad \quad \quad 8,14$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=55 C=50.0m**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	50,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	45,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	19,9
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	117,9
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	117,9
angolo d'attrito	ϕ	deg	29,7
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_{h0} / \sigma_{v0}$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad \quad \quad h1 = \quad \quad \quad 23,953$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$\text{profondità del cuneo frontale} \quad l \quad \text{m} \quad \quad \quad 6,04$$

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K_0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{K_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = \quad \quad \quad 190,2$$

$$\tau_{m2} = \quad \quad \quad 646,4$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{K_a}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{K_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad \quad \quad 2,51$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad \quad \quad 8,28$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=55 C=40.0m**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	14,09
altezza dello scavo	h	m	10,39
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	40,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,20
profondità della falda	w	m	35,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	19,9
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	107,1
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	107,1
angolo d'attrito	ϕ	deg	31,0
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad \quad \quad h1 = \quad \quad \quad 40$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 5,88

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = \quad \quad \quad 107,1$$

$$\tau_{m2} = \quad \quad \quad 263,5$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad \quad \quad 2,42$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad \quad \quad 9,74$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=55 C=30.0m**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	15,69
altezza dello scavo	h	m	11,19
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	30,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,00
profondità della falda	w	m	25,00

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	19,9
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	95,7
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	95,7
angolo d'attrito	ϕ	deg	32,6
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		1,00
coefficiente $K_0 = \sigma_{h0} / \sigma_{v0}$	K_0		1,00
pressione interstiziale	u	kPa	50,00

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad \quad \quad h1 = \quad \quad \quad 30$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$\text{profondità del cuneo frontale} \quad l \quad \text{m} \quad \quad \quad 6,13$$

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = \quad \quad \quad 95,7$$

$$\tau_{m2} = \quad \quad \quad 230,6$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1 + a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1 + a/l)^2 \sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1 + a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad \quad \quad 2,02$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad \quad \quad 10,23$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=55 C=20.0m**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	15,69
altezza dello scavo	h	m	11,19
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	20,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,00
profondità della falda	w	m	z

PARAMETRI GEOMECCANICI			
Peso specifico del terreno	g	kN/mc	19,9
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	83,3
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	83,3
angolo d'attrito	φ	deg	34,7
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente Ka =σh/σv	Ka		0,50
coefficiente K0 =σh0/σv0	K0		0,50
pressione interstiziale	u	kPa	#VALORE!

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad \quad \quad h1 = \quad \quad \quad 20$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 5,86

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = \quad \quad \quad 83,3$$

$$\tau_{m2} = \quad \quad \quad 169,6$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad \quad \quad 2,02$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad \quad \quad 8,91$$

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SAGOMA 1_GSI=55 C=10.0m**STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO - METODO DI TAMEZ****Terreno Marna**

GEOMETRIA	var	unità	
Larghezza dello scavo	b	m	15,69
altezza dello scavo	h	m	11,19
Copertura di terreno sulla calotta	z	m	10,00
distanza tra il fronte ed il sostegno	a	m	1,00
profondità della falda	w	m	z

PARAMETRI GEOMECCANICI

Peso specifico del terreno	g	kN/mc	19,9
coesione drenata del terreno da scavare	c1	kPa	69,8
coesione drenata del terreno sopra la calotta	c2	kPa	69,8
angolo d'attrito	ϕ	deg	37,7
pressione di sostegno al fronte	p	kPa	0,0
coefficiente $K_a = \sigma_h / \sigma_v$	K_a		0,50
coefficiente $K_0 = \sigma_h / \sigma_v$	K_0		0,00
pressione interstiziale	u	kPa	#VALORE!

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

$$h1 = 1.7 b \quad \text{per } z / D \geq 3$$

$$h1 = z \quad \text{per } z / D < 3 \quad \quad \quad h1 = \quad \quad \quad 10$$

Altezza del prisma di carico sulla calotta della galleria:

profondità del cuneo frontale l m 5,50

Valori medi della resistenza a rottura nei prismi 2 e 3:

$$\tau_{m3} = c_2 + \{0.25[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w)] - u\}tg\phi \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m3} = c_2 \quad \text{per tunnel superficiali}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[w\gamma + (z - h1 - w)(\gamma - \gamma_w) + 3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel profondi}$$

$$\tau_{m2} = c_2 + \frac{K0}{2} \left[3.4c_1 / \sqrt{Ka} - \frac{(\gamma - \gamma_w)h}{2} \right] \quad \text{per tunnel superficiali}$$

nel caso in oggetto si ha:

$$\tau_{m3} = \quad \quad \quad 69,8$$


$$\tau_{m2} = \quad \quad \quad 69,8$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del fronte di scavo:

$$FSF = \frac{\left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1+a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \frac{h1}{b} + \frac{2\tau_{m3}}{(1+a/l)\sqrt{Ka}} \frac{h1}{h} + \frac{3.4c}{(1+a/l)^2\sqrt{Ka}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z(1+a/l)^2} \right] [\gamma z - p]} = \quad \quad \quad 1,57$$

Fattore di sicurezza rispetto al collasso del prisma 3 in calotta:

$$FS3 = \frac{2\tau_{m3}}{\gamma z - p} \left[\frac{h1}{b} \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right] = \quad \quad \quad 7,46$$

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

14.2 Stabilità della cavità - Metodo delle linee caratteristiche

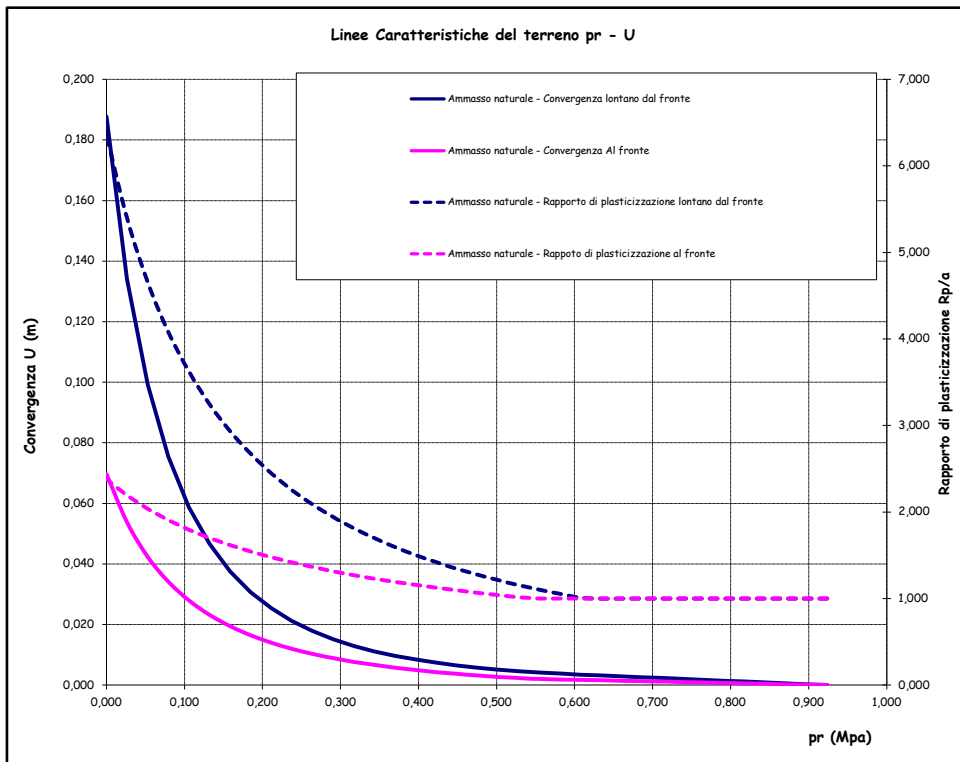
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
<i>a</i>		m	6,31
Copertura (in asse galleria)	<i>C</i>	m	65,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	16,1
coesione drenata in condizioni di picco	<i>cp</i>	MPa	0,057
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	16,1
coesione drenata in condizioni residue	<i>cr</i>	MPa	0,057
Modulo di Young	<i>E</i>	Mpa	750
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
coefficiente di spinta passiva - picco	<i>Np</i>		1,767
Resistenza a compressione uniassiale - picco	<i>fp</i>	Mpa	0,150
coefficiente di spinta passiva - residue	<i>Nr</i>		1,767
Resistenza a compressione uniassiale - residue	<i>fr</i>	Mpa	0,150
fattore di dilatanza	<i>K</i>		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	<i>K0</i>		0,57
Carico litostatico	σ_0	Mpa	0,92
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,310
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,448
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,097
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,61
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,34
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,003
convergenza del cavo in assenza di sostegno	<i>Uinf</i>	m	0,188
deformazione radiale	<i>εinf</i>	%	3,0
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	33,8
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,246
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,448
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,400
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,54
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,41
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,002
convergenza al fronte di scavo	<i>Uf</i>	m	0,070
deformazione radiale	ϵ_f	%	1,1
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	8,7

AMMASSO NON CONSOLIDATO											
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE					
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	
0,00	1,00	0,924	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,029	0,97	0,897	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,06	0,94	0,871	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,09	0,91	0,845	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,11	0,89	0,818	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,14	0,86	0,792	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,17	0,83	0,765	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,20	0,80	0,739	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,23	0,77	0,713	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,26	0,74	0,686	E	1,000	6,31	0,003	E	1,000	6,31	0,001	
0,29	0,71	0,660	E	1,000	6,31	0,003	E	1,000	6,31	0,001	
0,31	0,69	0,633	E	1,000	6,31	0,003	E	1,000	6,31	0,002	
0,34	0,66	0,607	P	1,010	6,37	0,003	E	1,000	6,31	0,002	
0,37	0,63	0,581	P	1,055	6,66	0,004	E	1,000	6,31	0,002	
0,40	0,60	0,554	P	1,104	6,96	0,004	E	1,000	6,31	0,002	
0,43	0,57	0,528	P	1,157	7,30	0,005	P	1,015	6,41	0,002	
0,46	0,54	0,501	P	1,214	7,66	0,005	P	1,040	6,56	0,003	
0,49	0,51	0,475	P	1,276	8,05	0,006	P	1,067	6,73	0,003	
0,51	0,49	0,449	P	1,345	8,49	0,007	P	1,095	6,91	0,004	
0,54	0,46	0,422	P	1,420	8,96	0,007	P	1,125	7,10	0,004	
0,57	0,43	0,396	P	1,503	9,49	0,008	P	1,158	7,30	0,005	
0,60	0,40	0,369	P	1,596	10,07	0,010	P	1,192	7,52	0,006	
0,63	0,37	0,343	P	1,698	10,72	0,011	P	1,230	7,76	0,007	
0,66	0,34	0,317	P	1,813	11,44	0,013	P	1,271	8,02	0,008	
0,69	0,31	0,290	P	1,942	12,26	0,015	P	1,316	8,30	0,009	
0,71	0,29	0,264	P	2,089	13,18	0,018	P	1,364	8,61	0,010	
0,74	0,26	0,238	P	2,256	14,24	0,021	P	1,418	8,95	0,012	
0,77	0,23	0,211	P	2,449	15,45	0,025	P	1,477	9,32	0,014	
0,80	0,20	0,185	P	2,672	16,86	0,031	P	1,543	9,74	0,016	
0,83	0,17	0,158	P	2,935	18,52	0,038	P	1,617	10,20	0,019	
0,86	0,14	0,132	P	3,246	20,48	0,047	P	1,701	10,73	0,023	
0,89	0,11	0,106	P	3,622	22,85	0,059	P	1,797	11,34	0,028	
0,91	0,09	0,079	P	4,081	25,75	0,075	P	1,907	12,03	0,034	
0,94	0,06	0,053	P	4,655	29,37	0,099	P	2,037	12,85	0,042	
0,97	0,03	0,026	P	5,388	34,00	0,134	P	2,191	13,83	0,054	
1,00	0,00	0,000	P	6,353	40,09	0,188	P	2,379	15,01	0,070	

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
<i>a</i>	m		6,31
<i>C</i>	m		65,0
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³		0,0200
ϕ_p	(°)		16
<i>cp</i>	MPa		0,057
ϕ_r	(°)		16
<i>cr</i>	MPa		0,057
<i>E</i>	Mpa		750
ν			0,3
ψ	(°)		0
Stato di sforzo iniziale			
<i>K0</i>			0,57
σ_0	Mpa		0,92

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
<i>Uinf</i>	m		0,188
ϵ_{inf}	%		3,0
<i>Rpinf - a</i>	m		33,8
Al fronte			
<i>Uf</i>	m		0,070
ϵ_f	%		1,1
<i>Rpf - a</i>	m		8,7

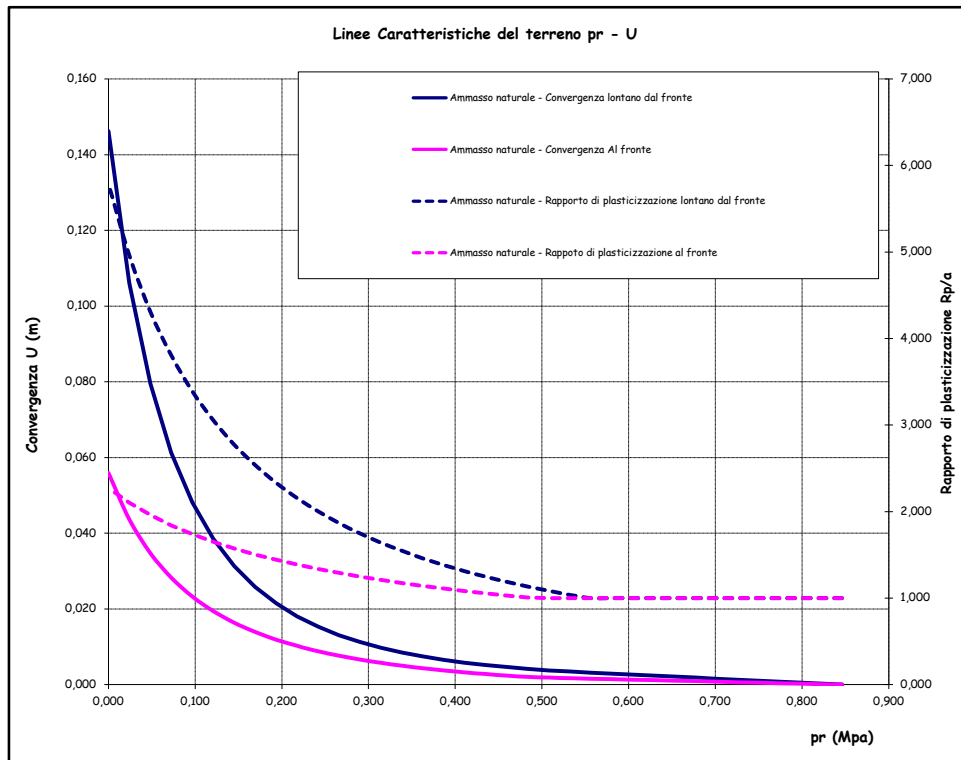
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
a		m	6,31
Copertura (in asse galleria)	C	m	60,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	Var	unità	
γ		MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕp	deg	16,5
coesione drenata in condizioni di picco	cp	MPa	0,054
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕr	deg	16,5
coesione drenata in condizioni residue	cr	MPa	0,054
Modulo di Young	E	Mpa	750
Coefficiente di Poisson	v		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta passiva - picco	Np		1,793
Resistenza a compressione uniassiale - picco	fp	Mpa	0,145
coefficiente di spinta passiva - residue	Nr		1,793
Resistenza a compressione uniassiale - residue	fr	Mpa	0,145
fattore di dilatanza	K		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	K0		0,56
Carico litostatico	$\sigma 0$	Mpa	0,85
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,292
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,412
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,093
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,55
coefficiente λ al limite elastico	λe		0,35
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,003
convergenza del cavo in assenza di sostegno	Uinf	m	0,146
deformazione radiale	ϵinf	%	2,3
Estensione fascia plasticizzata	Rp - a	m	30,2
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,231
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,412
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,400
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,49
coefficiente λ al limite elastico	λe		0,42
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,002
convergenza al fronte di scavo	Uf	m	0,056
deformazione radiale	ϵf	%	0,9
Estensione fascia plasticizzata	Rp - a	m	8,0

AMMASSO NON CONSOLIDATO										
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE				
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)
0,00	1,00	0,846	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000
0,029	0,97	0,822	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000
0,06	0,94	0,798	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000
0,09	0,91	0,774	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000
0,11	0,89	0,749	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001
0,14	0,86	0,725	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001
0,17	0,83	0,701	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001
0,20	0,80	0,677	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001
0,23	0,77	0,653	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001
0,26	0,74	0,629	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001
0,29	0,71	0,604	E	1,000	6,31	0,003	E	1,000	6,31	0,001
0,31	0,69	0,580	E	1,000	6,31	0,003	E	1,000	6,31	0,001
0,34	0,66	0,556	E	1,000	6,31	0,003	E	1,000	6,31	0,002
0,37	0,63	0,532	P	1,039	6,56	0,003	E	1,000	6,31	0,002
0,40	0,60	0,508	P	1,085	6,85	0,004	E	1,000	6,31	0,002
0,43	0,57	0,483	P	1,135	7,16	0,004	P	1,006	6,35	0,002
0,46	0,54	0,459	P	1,189	7,50	0,005	P	1,030	6,50	0,002
0,49	0,51	0,435	P	1,248	7,87	0,005	P	1,055	6,66	0,003
0,51	0,49	0,411	P	1,312	8,28	0,006	P	1,082	6,83	0,003
0,54	0,46	0,387	P	1,383	8,73	0,007	P	1,111	7,01	0,004
0,57	0,43	0,363	P	1,460	9,22	0,007	P	1,142	7,20	0,004
0,60	0,40	0,338	P	1,546	9,76	0,008	P	1,175	7,41	0,005
0,63	0,37	0,314	P	1,642	10,36	0,010	P	1,210	7,64	0,006
0,66	0,34	0,290	P	1,748	11,03	0,011	P	1,249	7,88	0,007
0,69	0,31	0,266	P	1,868	11,78	0,013	P	1,291	8,15	0,008
0,71	0,29	0,242	P	2,002	12,64	0,015	P	1,337	8,43	0,009
0,74	0,26	0,218	P	2,156	13,60	0,018	P	1,387	8,75	0,010
0,77	0,23	0,193	P	2,332	14,71	0,021	P	1,442	9,10	0,012
0,80	0,20	0,169	P	2,535	16,00	0,026	P	1,504	9,49	0,014
0,83	0,17	0,145	P	2,773	17,50	0,031	P	1,573	9,93	0,016
0,86	0,14	0,121	P	3,054	19,27	0,039	P	1,651	10,42	0,019
0,89	0,11	0,097	P	3,391	21,39	0,048	P	1,739	10,98	0,023
0,91	0,09	0,073	P	3,800	23,98	0,061	P	1,841	11,62	0,028
0,94	0,06	0,048	P	4,307	27,18	0,080	P	1,960	12,37	0,035
0,97	0,03	0,024	P	4,950	31,23	0,106	P	2,102	13,26	0,044
1,00	0,00	0,000	P	5,788	36,52	0,146	P	2,273	14,34	0,056

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
a	m		6,31
C	m		60,0
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³		0,0200
ϕp	(°)		17
cp	MPa		0,054
ϕr	(°)		17
cr	MPa		0,054
E	Mpa		750
v			0,3
ψ	(°)		0
Stato di sforzo iniziale			
K0			0,56
$\sigma 0$	Mpa		0,85

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
Uinf	m		0,146
ϵinf	%		2,3
Rpinf - a	m		30,2
Al fronte			
Uf	m		0,056
ϵf	%		0,9
Rpf - a	m		8,0

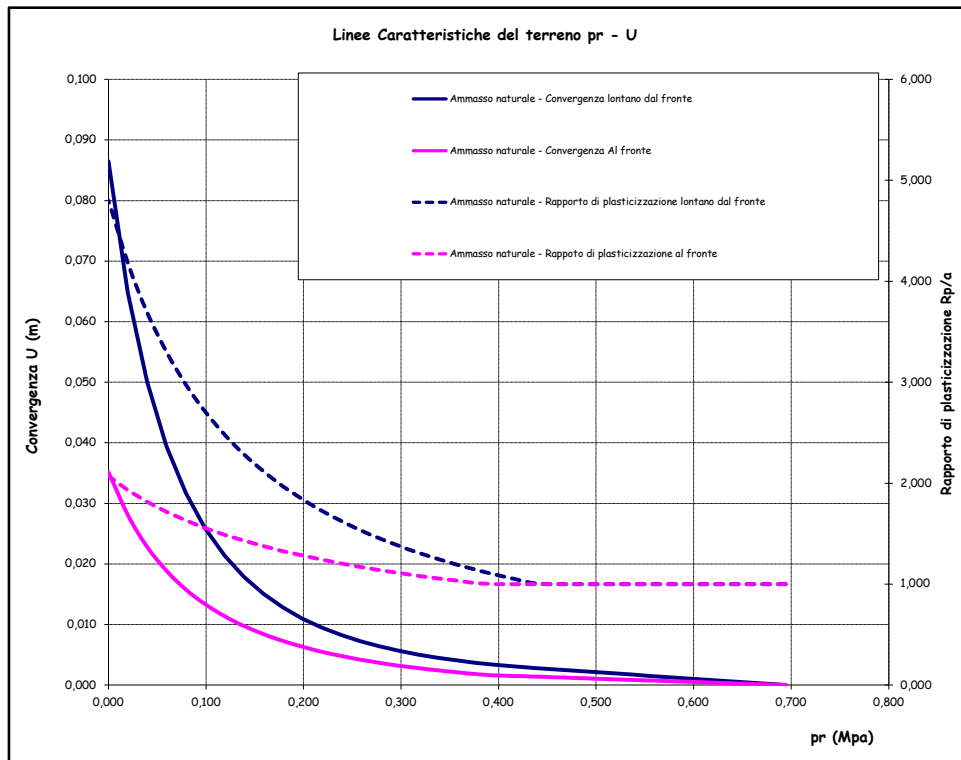
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
<i>a</i>		m	6,31
Copertura (in asse galleria)	<i>C</i>	m	50,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	17,3
coesione drenata in condizioni di picco	<i>cp</i>	MPa	0,050
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	17,3
coesione drenata in condizioni residue	<i>cr</i>	MPa	0,050
Modulo di Young	<i>E</i>	Mpa	750
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
coefficiente di spinta passiva - picco	<i>Np</i>		1,846
Resistenza a compressione uniassiale - picco	<i>fp</i>	Mpa	0,135
coefficiente di spinta passiva - residue	<i>Nr</i>		1,846
Resistenza a compressione uniassiale - residue	<i>fr</i>	Mpa	0,135
fattore di dilatanza	<i>K</i>		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	<i>K0</i>		0,54
Carico litostatico	σ_0	Mpa	0,69
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,254
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,341
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,084
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,44
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,37
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,003
convergenza del cavo in assenza di sostegno	<i>Uinf</i>	m	0,086
deformazione radiale	<i>εinf</i>	%	1,4
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	24,0
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,200
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,341
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,400
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,39
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,44
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,002
convergenza al fronte di scavo	<i>Uf</i>	m	0,035
deformazione radiale	ϵ_f	%	0,6
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	6,8

AMMASSO NON CONSOLIDATO												
CONDIZIONI PIANE												
λ	$1-\lambda$	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	status	Rp/r
0,00	1,00	0,694	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000
0,029	0,97	0,675	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000
0,06	0,94	0,655	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000
0,09	0,91	0,635	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000
0,11	0,89	0,615	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000
0,14	0,86	0,595	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,17	0,83	0,575	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,20	0,80	0,556	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,23	0,77	0,536	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,26	0,74	0,516	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,29	0,71	0,496	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,31	0,69	0,476	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,34	0,66	0,456	E	1,000	6,31	0,003	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,37	0,63	0,436	P	1,008	6,36	0,003	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000
0,40	0,60	0,417	P	1,049	6,62	0,003	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000
0,43	0,57	0,397	P	1,094	6,90	0,003	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000
0,46	0,54	0,377	P	1,142	7,21	0,004	P	1,011	6,38	0,002	E	1,000
0,49	0,51	0,357	P	1,194	7,53	0,004	P	1,033	6,52	0,002	E	1,000
0,51	0,49	0,337	P	1,250	7,89	0,005	P	1,058	6,67	0,002	E	1,000
0,54	0,46	0,317	P	1,312	8,28	0,005	P	1,083	6,84	0,003	E	1,000
0,57	0,43	0,298	P	1,380	8,71	0,006	P	1,111	7,01	0,003	E	1,000
0,60	0,40	0,278	P	1,454	9,18	0,006	P	1,140	7,20	0,004	E	1,000
0,63	0,37	0,258	P	1,536	9,69	0,007	P	1,172	7,40	0,004	E	1,000
0,66	0,34	0,238	P	1,627	10,27	0,008	P	1,206	7,61	0,005	E	1,000
0,69	0,31	0,218	P	1,729	10,91	0,010	P	1,244	7,85	0,006	E	1,000
0,71	0,29	0,198	P	1,843	11,63	0,011	P	1,284	8,10	0,006	E	1,000
0,74	0,26	0,179	P	1,972	12,44	0,013	P	1,328	8,38	0,007	E	1,000
0,77	0,23	0,159	P	2,118	13,36	0,015	P	1,376	8,68	0,008	E	1,000
0,80	0,20	0,139	P	2,286	14,42	0,018	P	1,430	9,02	0,010	E	1,000
0,83	0,17	0,119	P	2,480	15,65	0,021	P	1,489	9,40	0,011	E	1,000
0,86	0,14	0,099	P	2,706	17,08	0,026	P	1,556	9,82	0,013	E	1,000
0,89	0,11	0,079	P	2,975	18,77	0,032	P	1,631	10,29	0,016	E	1,000
0,91	0,09	0,060	P	3,296	20,80	0,039	P	1,717	10,83	0,019	E	1,000
0,94	0,06	0,040	P	3,689	23,28	0,050	P	1,816	11,46	0,023	E	1,000
0,97	0,03	0,020	P	4,177	26,36	0,065	P	1,933	12,20	0,028	E	1,000
1,00	0,00	0,000	P	4,800	30,29	0,086	P	2,072	13,07	0,035	E	1,000

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
<i>a</i>	m		6,31
<i>C</i>	m		50,0
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³		0,0200
ϕ_p	(°)		17
<i>cp</i>	MPa		0,050
ϕ_r	(°)		17
<i>cr</i>	MPa		0,050
<i>E</i>	Mpa		750
ν			0,3
ψ	(°)		0
Stato di sforzo iniziale			
<i>K0</i>			0,54
σ_0	Mpa		0,69

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
<i>Uinf</i>	m		0,086
ϵ_{inf}	%		1,4
<i>Rpinf - a</i>	m		24,0
Al fronte			
<i>Uf</i>	m		0,035
ϵ_f	%		0,6
<i>Rpf - a</i>	m		6,8

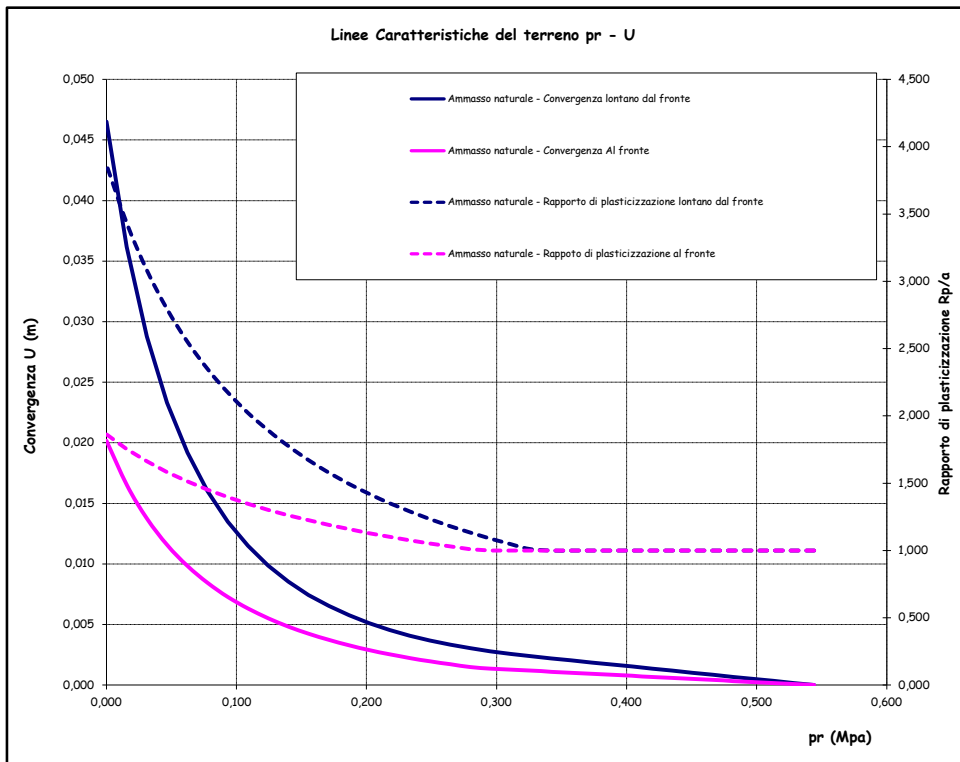
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
<i>a</i>		m	6,31
Copertura (in asse galleria)	<i>C</i>	m	40,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	18,4
coesione drenata in condizioni di picco	<i>cp</i>	MPa	0,044
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	18,4
coesione drenata in condizioni residue	<i>cr</i>	MPa	0,044
Modulo di Young	<i>E</i>	Mpa	750
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
coefficiente di spinta passiva - picco	<i>Np</i>		1,922
Resistenza a compressione uniassiale - picco	<i>fp</i>	Mpa	0,123
coefficiente di spinta passiva - residue	<i>Nr</i>		1,922
Resistenza a compressione uniassiale - residue	<i>fr</i>	Mpa	0,123
fattore di dilatanza	<i>K</i>		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	<i>K0</i>		0,52
Carico litostatico	σ_0	Mpa	0,54
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,214
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,271
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,073
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,33
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,39
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,002
convergenza del cavo in assenza di sostegno	<i>Uinf</i>	m	0,047
deformazione radiale	<i>εinf</i>	%	0,7
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	18,1
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,168
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,271
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,400
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,29
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,47
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,001
convergenza al fronte di scavo	<i>Uf</i>	m	0,020
deformazione radiale	ϵ_f	%	0,3
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	5,4

AMMASSO NON CONSOLIDATO											
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE					
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	
0,00	1,00	0,544	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,029	0,97	0,529	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,06	0,94	0,513	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,09	0,91	0,497	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,11	0,89	0,482	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,14	0,86	0,466	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,17	0,83	0,451	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,20	0,80	0,435	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,23	0,77	0,420	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,26	0,74	0,404	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,29	0,71	0,389	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,31	0,69	0,373	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,34	0,66	0,358	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,37	0,63	0,342	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,40	0,60	0,326	P	1,009	6,37	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,43	0,57	0,311	P	1,047	6,61	0,003	E	1,000	6,31	0,001	
0,46	0,54	0,295	P	1,089	6,87	0,003	E	1,000	6,31	0,001	
0,49	0,51	0,280	P	1,133	7,15	0,003	P	1,008	6,36	0,001	
0,51	0,49	0,264	P	1,181	7,45	0,003	P	1,030	6,50	0,002	
0,54	0,46	0,249	P	1,234	7,78	0,004	P	1,052	6,64	0,002	
0,57	0,43	0,233	P	1,290	8,14	0,004	P	1,076	6,79	0,002	
0,60	0,40	0,218	P	1,352	8,53	0,005	P	1,102	6,95	0,003	
0,63	0,37	0,202	P	1,421	8,96	0,005	P	1,129	7,12	0,003	
0,66	0,34	0,187	P	1,496	9,44	0,006	P	1,158	7,31	0,003	
0,69	0,31	0,171	P	1,579	9,96	0,007	P	1,190	7,51	0,004	
0,71	0,29	0,155	P	1,671	10,54	0,007	P	1,224	7,73	0,004	
0,74	0,26	0,140	P	1,774	11,20	0,009	P	1,262	7,96	0,005	
0,77	0,23	0,124	P	1,891	11,93	0,010	P	1,302	8,22	0,006	
0,80	0,20	0,109	P	2,023	12,76	0,011	P	1,347	8,50	0,006	
0,83	0,17	0,093	P	2,174	13,72	0,013	P	1,397	8,81	0,007	
0,86	0,14	0,078	P	2,348	14,82	0,016	P	1,451	9,16	0,008	
0,89	0,11	0,062	P	2,551	16,10	0,019	P	1,513	9,55	0,010	
0,91	0,09	0,047	P	2,791	17,61	0,023	P	1,582	9,99	0,012	
0,94	0,06	0,031	P	3,079	19,43	0,029	P	1,662	10,49	0,014	
0,97	0,03	0,016	P	3,429	21,64	0,036	P	1,754	11,07	0,017	
1,00	0,00	0,000	P	3,865	24,39	0,047	P	1,862	11,75	0,020	

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
<i>a</i>	m		6,31
<i>C</i>	m		40,0
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³		0,0200
ϕ_p	(°)		18
<i>cp</i>	MPa		0,044
ϕ_r	(°)		18
<i>cr</i>	MPa		0,044
<i>E</i>	Mpa		750
ν			0,3
ψ	(°)		0
Stato di sforzo iniziale			
<i>K0</i>			0,52
σ_0	Mpa		0,54

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
<i>Uinf</i>	m		0,047
<i>εinf</i>	%		0,7
<i>Rpinf - a</i>	m		18,1
Al fronte			
<i>Uf</i>	m		0,020
ϵ_f	%		0,3
<i>Rpf - a</i>	m		5,4

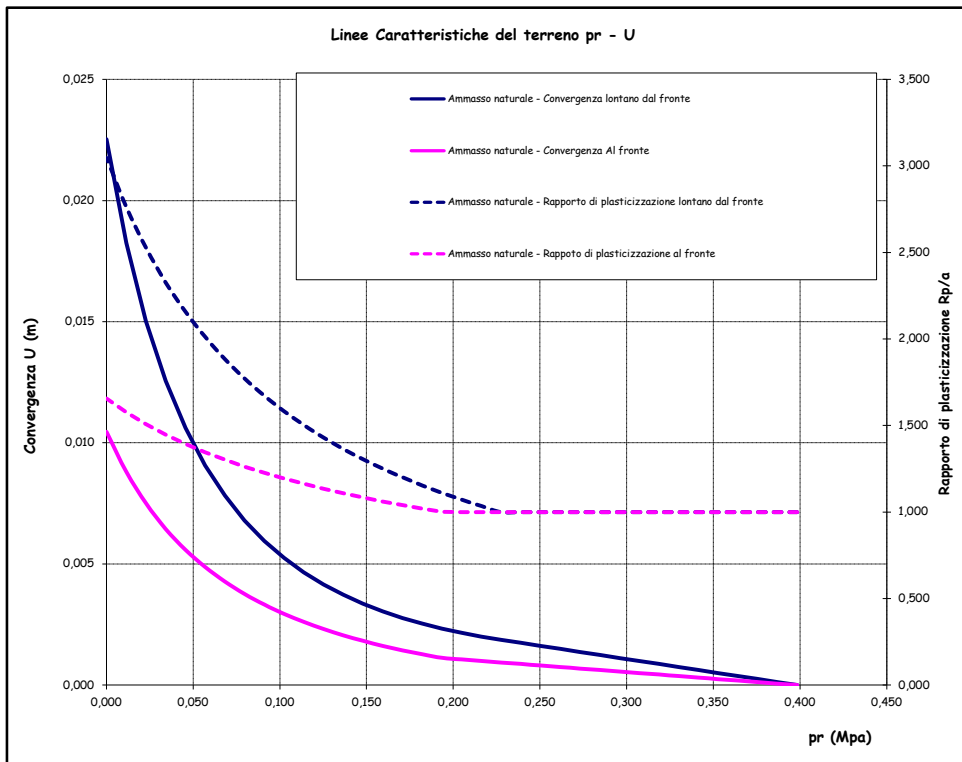
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
a		m	6,31
Copertura (in asse galleria)	C	m	30,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	19,7
coesione drenata in condizioni di picco	cp	MPa	0,039
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	19,7
coesione drenata in condizioni residue	cr	MPa	0,039
Modulo di Young	E	Mpa	750
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
coefficiente di spinta passiva - picco	Np		2,017
Resistenza a compressione uniassiale - picco	fp	Mpa	0,110
coefficiente di spinta passiva - residue	Nr		2,017
Resistenza a compressione uniassiale - residue	fr	Mpa	0,110
fattore di dilatanza	K		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	K0		0,50
Carico litostatico	σ_0	Mpa	0,40
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,171
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,203
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,061
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,23
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,43
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,002
convergenza del cavo in assenza di sostegno	Uinf	m	0,023
deformazione radiale	ϵ_{inf}	%	0,4
Estensione fascia plasticizzata	Rp - a	m	12,9
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,133
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,203
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,400
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,19
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,51
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,001
convergenza al fronte di scavo	Uf	m	0,010
deformazione radiale	ϵ_f	%	0,2
Estensione fascia plasticizzata	Rp - a	m	4,1

AMMASSO NON CONSOLIDATO												
CONDIZIONI PIANE												
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)		
0,00	1,00	0,398	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000		
0,029	0,97	0,387	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000		
0,06	0,94	0,376	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000		
0,09	0,91	0,364	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000		
0,11	0,89	0,353	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000		
0,14	0,86	0,341	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000		
0,17	0,83	0,330	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000		
0,20	0,80	0,319	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000		
0,23	0,77	0,307	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000		
0,26	0,74	0,296	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001		
0,29	0,71	0,285	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001		
0,31	0,69	0,273	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001		
0,34	0,66	0,262	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001		
0,37	0,63	0,250	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001		
0,40	0,60	0,239	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001		
0,43	0,57	0,228	P	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001		
0,46	0,54	0,216	P	1,034	6,53	0,002	E	1,000	6,31	0,001		
0,49	0,51	0,205	P	1,071	6,76	0,002	E	1,000	6,31	0,001		
0,51	0,49	0,193	P	1,111	7,01	0,002	P	1,000	6,31	0,001		
0,54	0,46	0,182	P	1,154	7,28	0,003	P	1,019	6,43	0,001		
0,57	0,43	0,171	P	1,200	7,57	0,003	P	1,040	6,56	0,001		
0,60	0,40	0,159	P	1,251	7,89	0,003	P	1,061	6,70	0,002		
0,63	0,37	0,148	P	1,305	8,24	0,003	P	1,084	6,84	0,002		
0,66	0,34	0,137	P	1,365	8,61	0,004	P	1,109	7,00	0,002		
0,69	0,31	0,125	P	1,430	9,03	0,004	P	1,135	7,16	0,002		
0,71	0,29	0,114	P	1,502	9,48	0,005	P	1,163	7,34	0,003		
0,74	0,26	0,102	P	1,582	9,98	0,005	P	1,194	7,53	0,003		
0,77	0,23	0,091	P	1,671	10,54	0,006	P	1,227	7,74	0,003		
0,80	0,20	0,080	P	1,771	11,17	0,007	P	1,263	7,97	0,004		
0,83	0,17	0,068	P	1,883	11,88	0,008	P	1,302	8,22	0,004		
0,86	0,14	0,057	P	2,011	12,69	0,009	P	1,346	8,49	0,005		
0,89	0,11	0,046	P	2,157	13,61	0,011	P	1,394	8,79	0,006		
0,91	0,09	0,034	P	2,327	14,68	0,013	P	1,448	9,13	0,006		
0,94	0,06	0,023	P	2,525	15,94	0,015	P	1,508	9,52	0,007		
0,97	0,03	0,011	P	2,762	17,43	0,018	P	1,577	9,95	0,009		
1,00	0,00	0,000	P	3,047	19,23	0,023	P	1,657	10,45	0,010		

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
a	m	6,31	
C	m	30,0	
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³	0,0200	
ϕ_p	(°)	20	
cp	MPa	0,039	
ϕ_r	(°)	20	
cr	MPa	0,039	
E	Mpa	750	
ν		0,3	
ψ	(°)	0	
Stato di sforzo iniziale			
K0		0,50	
σ_0	Mpa	0,40	

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
Uinf	m	0,023	
ϵ_{inf}	%	0,4	
Rpinf - a	m	12,9	
Al fronte			
Uf	m	0,010	
ϵ_f	%	0,2	
Rpf - a	m	4,1	

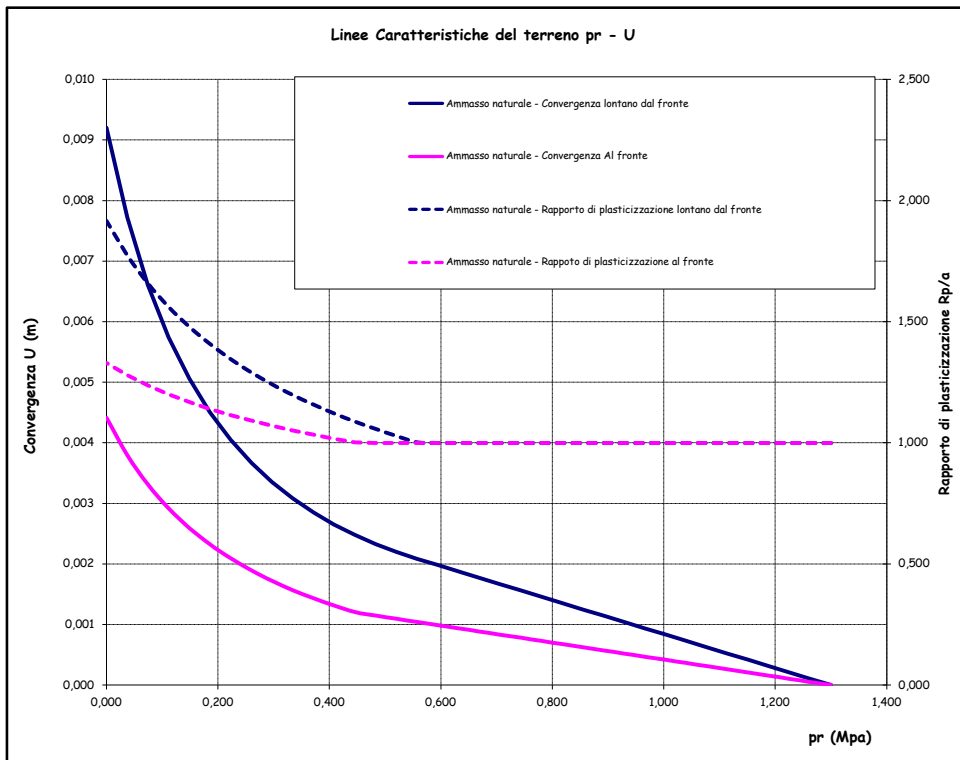
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	a	m	6,3
Copertura (in asse galleria)	C	m	65,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	28,6
coesione drenata in condizioni di picco	cp	MPa	0,1
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	28,6
coesione drenata in condizioni residue	cr	MPa	0,1
Modulo di Young	E	Mpa	2922
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	K0		1,00
Carico litostatico	σ_0	Mpa	1,30
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,739
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,618
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,014
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,56
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,57
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,002
convergenza del cavo in assenza di sostegno	Uinf	m	0,009
deformazione radiale	ϵ_{inf}	%	0,1
Estensione fascia plasticizzata	Rp - a	m	5,8
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,552
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,618
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,400
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,45
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,65
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,001
convergenza al fronte di scavo	Uf	m	0,004
deformazione radiale	ϵ_f	%	0,1
Estensione fascia plasticizzata	Rpf - a	m	2,1

AMMASSO NON CONSOLIDATO											
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE					
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	
0,00	1,00	1,300	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,029	0,97	1,263	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,06	0,94	1,226	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,09	0,91	1,189	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,11	0,89	1,151	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,14	0,86	1,114	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,17	0,83	1,077	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,20	0,80	1,040	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,23	0,77	1,003	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,26	0,74	0,966	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,29	0,71	0,929	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,31	0,69	0,891	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,34	0,66	0,854	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,37	0,63	0,817	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,40	0,60	0,780	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,43	0,57	0,743	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,46	0,54	0,706	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,49	0,51	0,669	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,51	0,49	0,631	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,54	0,46	0,594	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,57	0,43	0,557	P	1,003	6,33	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,60	0,40	0,520	P	1,029	6,49	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,63	0,37	0,483	P	1,057	6,67	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,66	0,34	0,446	P	1,088	6,86	0,002	P	1,002	6,32	0,001	
0,69	0,31	0,409	P	1,121	7,07	0,003	P	1,017	6,42	0,001	
0,71	0,29	0,371	P	1,158	7,30	0,003	P	1,033	6,52	0,001	
0,74	0,26	0,334	P	1,197	7,56	0,003	P	1,051	6,63	0,002	
0,77	0,23	0,297	P	1,242	7,83	0,003	P	1,070	6,75	0,002	
0,80	0,20	0,260	P	1,291	8,14	0,004	P	1,091	6,89	0,002	
0,83	0,17	0,223	P	1,346	8,49	0,004	P	1,114	7,03	0,002	
0,86	0,14	0,186	P	1,408	8,88	0,005	P	1,140	7,19	0,002	
0,89	0,11	0,149	P	1,479	9,33	0,005	P	1,168	7,37	0,003	
0,91	0,09	0,111	P	1,561	9,85	0,006	P	1,200	7,57	0,003	
0,94	0,06	0,074	P	1,658	10,46	0,007	P	1,237	7,80	0,003	
0,97	0,03	0,037	P	1,774	11,19	0,008	P	1,279	8,07	0,004	
1,00	0,00	0,000	P	1,916	12,09	0,009	P	1,330	8,39	0,004	

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
a	m	6,31	
C	m	65,0	
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³	0,0200	
ϕ_p	(°)	29	
cp	MPa	0,133	
ϕ_r	(°)	29	
cr	MPa	0,133	
E	Mpa	2922	
ν		0,3	
ψ	(°)	0	
Stato di sforzo iniziale			
K0		1,00	
σ_0	Mpa	1,30	

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
Uinf	m	0,009	
ϵ_{inf}	%	0,1	
Rpinf - a	m	5,8	
Al fronte			
Uf	m	0,004	
ϵ_f	%	0,1	
Rpf - a	m	2,1	

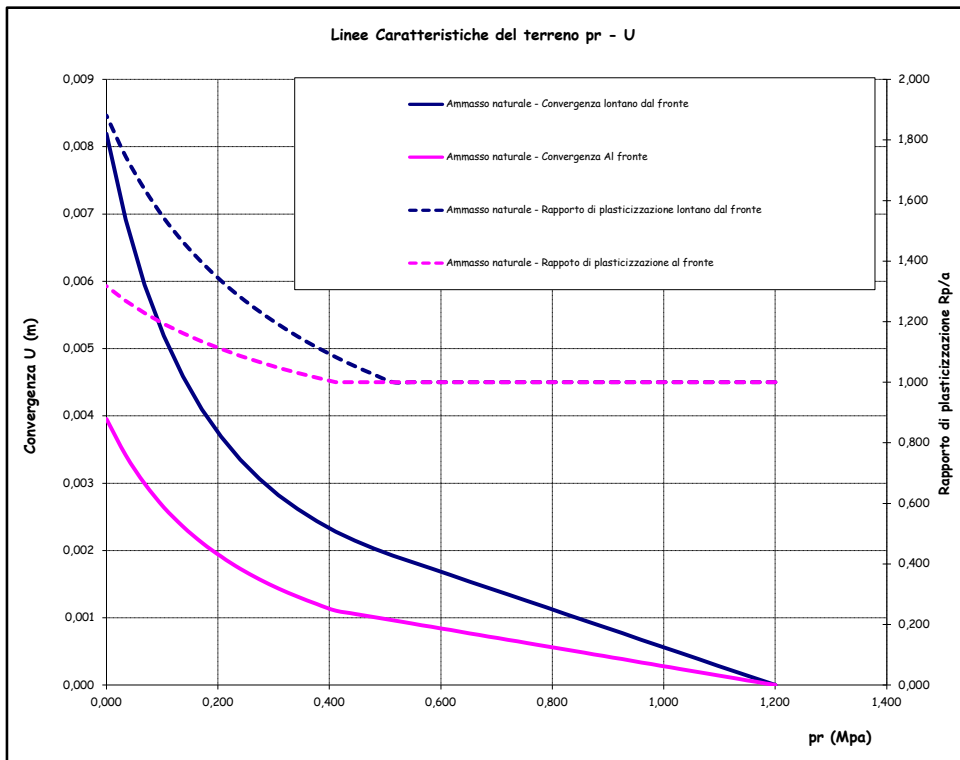
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
<i>a</i>		m	6,3
Copertura (in asse galleria)	<i>C</i>	m	60,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	28,6
coesione drenata in condizioni di picco	<i>cp</i>	MPa	0,1
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	28,6
coesione drenata in condizioni residue	<i>cr</i>	MPa	0,1
Modulo di Young	<i>E</i>	Mpa	2922
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta passiva - picco	<i>Np</i>		2,834
Resistenza a compressione uniassiale - picco	<i>fp</i>	Mpa	0,431
coefficiente di spinta passiva - residue	<i>Nr</i>		2,834
Resistenza a compressione uniassiale - residue	<i>fr</i>	Mpa	0,431
fattore di dilatazza	<i>K</i>		1,000
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,686
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,574
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,014
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,51
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,57
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,002
convergenza del cavo in assenza di sostegno	<i>Uinf</i>	m	0,008
deformazione radiale	<i>εinf</i>	%	0,1
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	5,6
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,513
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,574
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,400
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,41
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,66
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,001
convergenza al fronte di scavo	<i>Uf</i>	m	0,004
deformazione radiale	ϵ_f	%	0,1
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	2,0

AMMASSO NON CONSOLIDATO											
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE					
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	
0,00	1,00	1,200	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,029	0,97	1,166	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,06	0,94	1,131	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,09	0,91	1,097	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,11	0,89	1,063	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,14	0,86	1,029	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,17	0,83	0,994	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,20	0,80	0,960	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,23	0,77	0,926	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,26	0,74	0,891	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,29	0,71	0,857	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,31	0,69	0,823	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,34	0,66	0,789	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,37	0,63	0,754	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,40	0,60	0,720	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,43	0,57	0,686	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,46	0,54	0,651	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,49	0,51	0,617	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,51	0,49	0,583	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,54	0,46	0,549	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,57	0,43	0,514	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,60	0,40	0,480	P	1,025	6,47	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,63	0,37	0,446	P	1,053	6,65	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,66	0,34	0,411	P	1,083	6,84	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,69	0,31	0,377	P	1,116	7,04	0,002	P	1,015	6,40	0,001	
0,71	0,29	0,343	P	1,152	7,27	0,003	P	1,031	6,50	0,001	
0,74	0,26	0,309	P	1,191	7,51	0,003	P	1,048	6,61	0,001	
0,77	0,23	0,274	P	1,234	7,78	0,003	P	1,067	6,73	0,002	
0,80	0,20	0,240	P	1,281	8,09	0,003	P	1,087	6,86	0,002	
0,83	0,17	0,206	P	1,335	8,42	0,004	P	1,110	7,00	0,002	
0,86	0,14	0,171	P	1,395	8,80	0,004	P	1,134	7,16	0,002	
0,89	0,11	0,137	P	1,464	9,24	0,005	P	1,162	7,33	0,002	
0,91	0,09	0,103	P	1,543	9,74	0,005	P	1,193	7,53	0,003	
0,94	0,06	0,069	P	1,636	10,32	0,006	P	1,228	7,75	0,003	
0,97	0,03	0,034	P	1,746	11,02	0,007	P	1,269	8,01	0,003	
1,00	0,00	0,000	P	1,881	11,87	0,008	P	1,317	8,31	0,004	

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
<i>a</i>	m		6,31
<i>C</i>	m		60,0
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³		0,0200
ϕ_p	(°)		29
<i>cp</i>	MPa		0,128
ϕ_r	(°)		29
<i>cr</i>	MPa		0,128
<i>E</i>	Mpa		2922
ν			0,3
ψ	(°)		0
Stato di sforzo iniziale			
<i>K0</i>			1,00
σ_0	Mpa		1,20

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
<i>Uinf</i>	m		0,008
ϵ_{inf}	%		0,1
<i>Rpinf - a</i>	m		5,6
Al fronte			
<i>Uf</i>	m		0,004
ϵ_f	%		0,1
<i>Rpf - a</i>	m		2,0

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

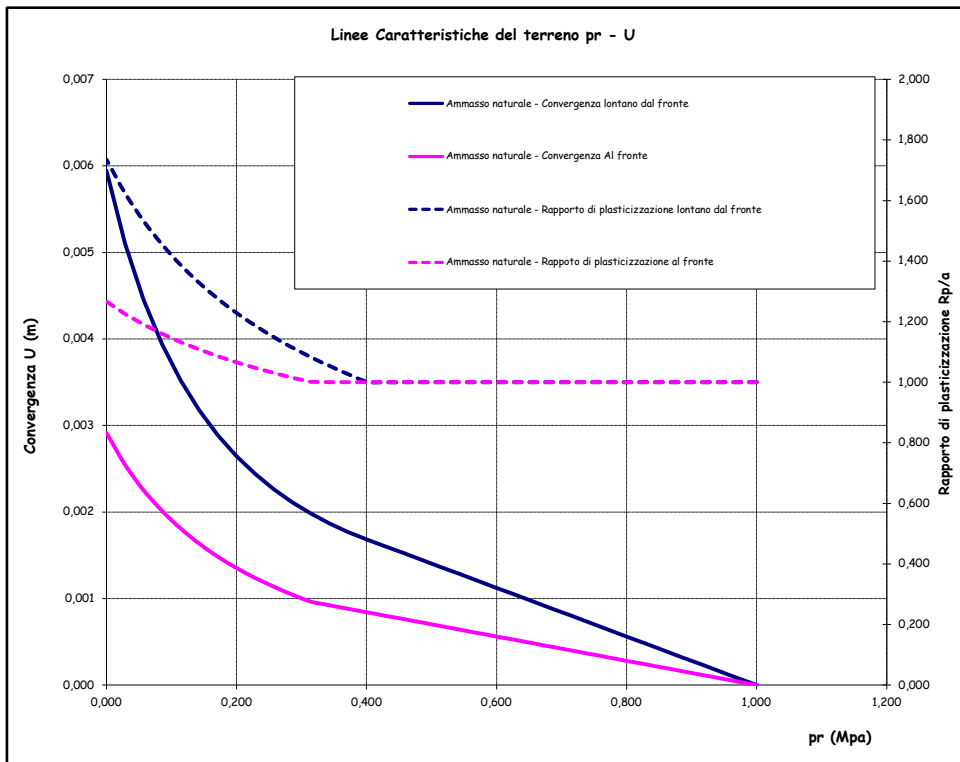
DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
<i>a</i>		m	6,3
Copertura (in asse galleria)	<i>C</i>	m	50,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	29,7
coesione drenata in condizioni di picco	<i>cp</i>	MPa	0,1
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	29,7
coesione drenata in condizioni residue	<i>cr</i>	MPa	0,1
Modulo di Young	<i>E</i>	Mpa	2922
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
coefficiente di spinta passiva - picco	<i>Np</i>		2,961
Resistenza a compressione uniassiale - picco	<i>fp</i>	Mpa	0,406
coefficiente di spinta passiva - residue	<i>Nr</i>		2,961
Resistenza a compressione uniassiale - residue	<i>fr</i>	Mpa	0,406
fattore di dilatazza	<i>K</i>		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	<i>K0</i>		1,00
Carico litostatico	σ_0	Mpa	1,00
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,597
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,483
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,011
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,40
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,60
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,002
convergenza del cavo in assenza di sostegno	<i>Uinf</i>	m	0,006
deformazione radiale	<i>εinf</i>	%	0,1
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	4,6
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,444
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,483
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,400
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,32
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,68
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,001
convergenza al fronte di scavo	<i>Uf</i>	m	0,003
deformazione radiale	ϵ_f	%	0,0
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	1,7

0,51793
0,51793
0

AMMASSO NON CONSOLIDATO											
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE					
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	
0,00	1,00	1,000	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,029	0,97	0,971	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,06	0,94	0,943	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,09	0,91	0,914	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,11	0,89	0,886	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,14	0,86	0,857	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,17	0,83	0,829	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,20	0,80	0,800	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,23	0,77	0,771	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,26	0,74	0,743	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,29	0,71	0,714	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,31	0,69	0,686	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,34	0,66	0,657	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,37	0,63	0,629	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,40	0,60	0,600	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,43	0,57	0,571	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,46	0,54	0,543	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,49	0,51	0,514	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,51	0,49	0,486	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,54	0,46	0,457	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,57	0,43	0,429	E	1,000	6,31	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,60	0,40	0,400	P	1,002	6,32	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,63	0,37	0,371	P	1,027	6,48	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,66	0,34	0,343	P	1,054	6,65	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,69	0,31	0,314	P	1,083	6,83	0,002	P	1,001	6,32	0,001	
0,71	0,29	0,286	P	1,115	7,03	0,002	P	1,015	6,41	0,001	
0,74	0,26	0,257	P	1,149	7,25	0,002	P	1,031	6,51	0,001	
0,77	0,23	0,229	P	1,187	7,49	0,002	P	1,048	6,61	0,001	
0,80	0,20	0,200	P	1,229	7,75	0,003	P	1,066	6,73	0,001	
0,83	0,17	0,171	P	1,275	8,05	0,003	P	1,086	6,85	0,001	
0,86	0,14	0,143	P	1,327	8,38	0,003	P	1,108	6,99	0,002	
0,89	0,11	0,114	P	1,386	8,75	0,004	P	1,132	7,15	0,002	
0,91	0,09	0,086	P	1,454	9,17	0,004	P	1,160	7,32	0,002	
0,94	0,06	0,057	P	1,532	9,67	0,004	P	1,190	7,51	0,002	
0,97	0,03	0,029	P	1,624	10,25	0,005	P	1,226	7,73	0,003	
1,00	0,00	0,000	P	1,735	10,95	0,006	P	1,267	7,99	0,003	

n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI			
Geometria			
<i>a</i>	m		6,31
<i>C</i>	m		50,0
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³		0,0200
ϕ_p	(°)		30
<i>cp</i>	MPa		0,118
ϕ_r	(°)		30
<i>cr</i>	MPa		0,118
<i>E</i>	Mpa		2922
ν			0,3
ψ	(°)		0
Stato di sforzo iniziale			
<i>K0</i>			1,00
σ_0	Mpa		1,00

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
<i>Uinf</i>	m		0,006
ϵ_{inf}	%		0,1
<i>Rpinf - a</i>	m		4,6
Al fronte			
<i>Uf</i>	m		0,003
ϵ_f	%		0,0
<i>Rpf - a</i>	m		1,7

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	a	m	6,3
Copertura (in asse galleria)	C	m	40,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕp	deg	31,0
coesione drenata in condizioni di picco	cp	MPa	0,1
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕr	deg	31,0
coesione drenata in condizioni residue	cr	MPa	0,1
Modulo di Young	E	Mpa	2922
Coefficiente di Poisson	v		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
coefficiente di spinta passiva - picco	Np		3,122
Resistenza a compressione uniaxiale - picco	fp	Mpa	0,379
coefficiente di spinta passiva - residue	Nr		3,122
Resistenza a compressione uniaxiale - residue	fr	Mpa	0,379
fattore di dilatanza	K		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	K0		1,00
Carico litostatico	$\sigma 0$	Mpa	0,80
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,504
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,391
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,008
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,30
coefficiente λ al limite elastico	λe		0,63
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,001
convergenza del cavo in assenza di sostegno	Uinf	m	0,004
deformazione radiale	ϵinf	%	0,1
Estensione fascia plasticizzata	Rp - a	m	3,7
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	A		0,373
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	B		0,391
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	C		0,400
pressione critica di confinamento	pe	Mpa	0,23
coefficiente λ al limite elastico	λe		0,72
convergenza al limite elastico	Ue	m	0,001
convergenza al fronte di scavo	Uf	m	0,002
deformazione radiale	ϵf	%	0,0
Estensione fascia plasticizzata	Rp - a	m	1,3

AMMASSO NON CONSOLIDATO											
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE					
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	
0,00	1,00	0,800	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,029	0,97	0,777	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,06	0,94	0,754	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,09	0,91	0,731	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,11	0,89	0,709	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,14	0,86	0,686	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,17	0,83	0,663	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,20	0,80	0,640	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,23	0,77	0,617	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,26	0,74	0,594	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,29	0,71	0,571	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,31	0,69	0,549	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,34	0,66	0,526	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,37	0,63	0,503	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,40	0,60	0,480	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,43	0,57	0,457	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,46	0,54	0,434	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,49	0,51	0,411	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,51	0,49	0,389	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,54	0,46	0,366	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,57	0,43	0,343	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,60	0,40	0,320	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,63	0,37	0,297	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,66	0,34	0,274	P	1,023	6,45	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,69	0,31	0,251	P	1,048	6,61	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,71	0,29	0,229	P	1,075	6,78	0,002	E	1,000	6,31	0,001	
0,74	0,26	0,206	P	1,105	6,97	0,002	P	1,013	6,39	0,001	
0,77	0,23	0,183	P	1,137	7,18	0,002	P	1,027	6,48	0,001	
0,80	0,20	0,160	P	1,173	7,40	0,002	P	1,043	6,58	0,001	
0,83	0,17	0,137	P	1,212	7,65	0,002	P	1,061	6,69	0,001	
0,86	0,14	0,114	P	1,256	7,93	0,002	P	1,080	6,81	0,001	
0,89	0,11	0,091	P	1,305	8,23	0,003	P	1,101	6,94	0,001	
0,91	0,09	0,069	P	1,361	8,59	0,003	P	1,124	7,09	0,001	
0,94	0,06	0,046	P	1,424	8,99	0,003	P	1,150	7,25	0,002	
0,97	0,03	0,023	P	1,498	9,45	0,004	P	1,179	7,44	0,002	
1,00	0,00	0,000	P	1,586	10,01	0,004	P	1,213	7,66	0,002	

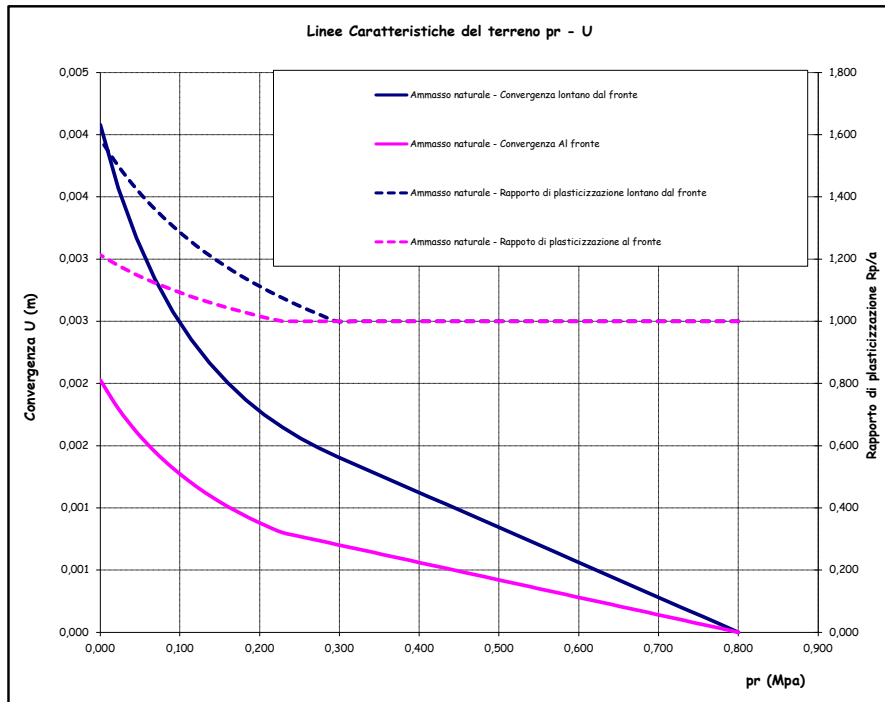
n. punti

35

step

0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI



DATI		
Geometria		
a	m	6,31
C	m	40,0
Parametri geotecnici		
γ	MN/m ³	0,0200
ϕp	(°)	31
cp	MPa	0,107
ϕr	(°)	31
cr	MPa	0,107
E	Mpa	2922
v		0,3
ψ	(°)	0
Stato di sforzo iniziale		
K0		1,00
$\sigma 0$	Mpa	0,80

RISULTATI		
Lontano dal fronte		
Uinf	m	0,004
ϵinf	%	0,1
Rpinf - a	m	3,7
Al fronte		
Uf	m	0,002
ϵf	%	0,0
Rpf - a	m	1,3

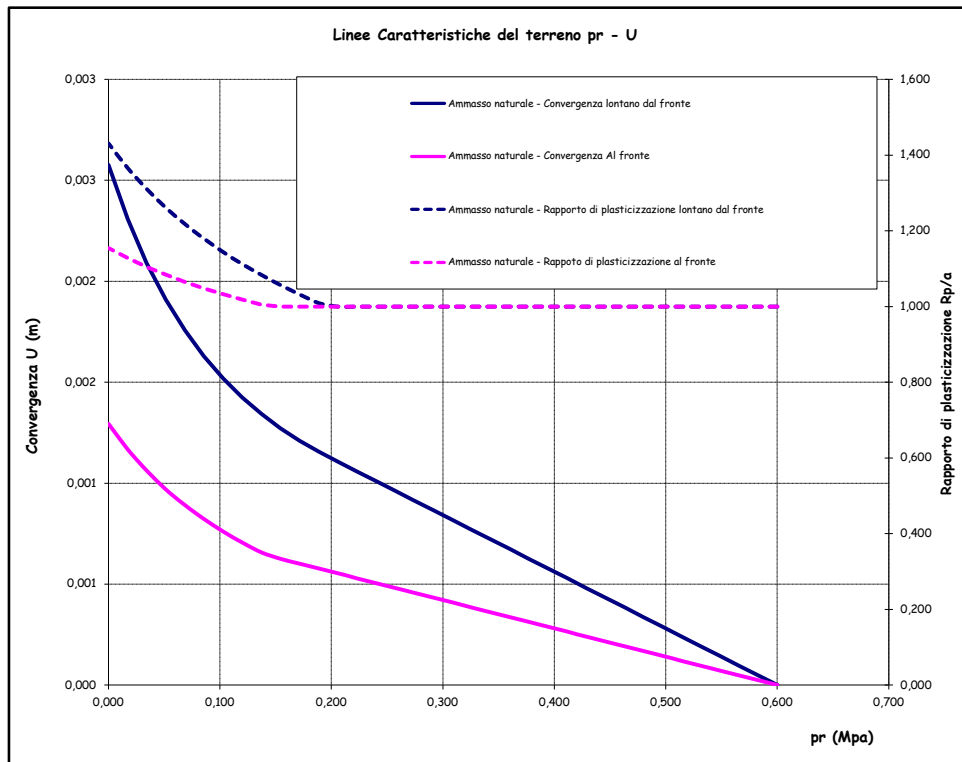
LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

DATI			
Geometria			
Raggio di scavo equivalente	Var	unità	
<i>a</i>		m	6,3
Copertura (in asse galleria)	<i>C</i>	m	30,0
Parametri geomeccanici			
Peso di volume del terreno	γ	MN/mc	0,0200
Angolo d'attrito interno in condizioni di picco	ϕ_p	deg	32,6
coesione drenata in condizioni di picco	<i>cp</i>	MPa	0,1
Angolo d'attrito interno in condizioni residue	ϕ_r	deg	32,6
coesione drenata in condizioni residue	<i>cr</i>	MPa	0,1
Modulo di Young	<i>E</i>	Mpa	2922
Coefficiente di Poisson	ν		0,3
Dilatanza	ψ	deg	0
coefficiente di spinta passiva - picco	<i>Np</i>		3,337
Resistenza a compressione uniassiale - picco	<i>fp</i>	Mpa	0,349
coefficiente di spinta passiva - residue	<i>Nr</i>		3,337
Resistenza a compressione uniassiale - residue	<i>fr</i>	Mpa	0,349
fattore di dilatazza	<i>K</i>		1,000
Stato di sforzo iniziale			
coefficiente di spinta a riposo	<i>K0</i>		1,00
Carico litostatico	σ_0	Mpa	0,60
RISULTATI - CONDIZIONI PIANE (LONTANO DAL FRONTE)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,404
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,300
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,005
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,20
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,67
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,001
convergenza del cavo in assenza di sostegno	<i>Uinf</i>	m	0,003
deformazione radiale	<i>εinf</i>	%	0,0
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	2,7
RISULTATI - CONDIZIONI SFERICHE (AL FRONTE DI SCAVO)			
fattore A (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>A</i>		0,297
fattore B (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>B</i>		0,300
fattore C (calcolo spostamenti in fase plastica)	<i>C</i>		0,400
pressione critica di confinamento	<i>pe</i>	Mpa	0,14
coefficiente λ al limite elastico	λ_e		0,76
convergenza al limite elastico	<i>Ue</i>	m	0,001
convergenza al fronte di scavo	<i>Uf</i>	m	0,001
deformazione radiale	<i>εf</i>	%	0,0
Estensione fascia plasticizzata	<i>Rp - a</i>	m	1,0

AMMASSO NON CONSOLIDATO											
CONDIZIONI PIANE						CONDIZIONI SFERICHE					
λ	1- λ	pr (MPa)	status	Rp/r	Rp (m)	Ur (m)	status	Rp/r	Rp (m)	Uf (m)	
0,00	1,00	0,600	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,029	0,97	0,583	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,06	0,94	0,566	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,09	0,91	0,549	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,11	0,89	0,531	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,14	0,86	0,514	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,17	0,83	0,497	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,20	0,80	0,480	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,23	0,77	0,463	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,26	0,74	0,446	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,29	0,71	0,429	E	1,000	6,31	0,000	E	1,000	6,31	0,000	
0,31	0,69	0,411	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,34	0,66	0,394	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,37	0,63	0,377	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,40	0,60	0,360	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,43	0,57	0,343	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,46	0,54	0,326	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,49	0,51	0,309	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,51	0,49	0,291	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,54	0,46	0,274	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,57	0,43	0,257	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,000	
0,60	0,40	0,240	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,63	0,37	0,223	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,66	0,34	0,206	E	1,000	6,31	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,69	0,31	0,189	P	1,009	6,37	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,71	0,29	0,171	P	1,032	6,51	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,74	0,26	0,154	P	1,057	6,67	0,001	E	1,000	6,31	0,001	
0,77	0,23	0,137	P	1,083	6,84	0,001	P	1,005	6,34	0,001	
0,80	0,20	0,120	P	1,112	7,02	0,001	P	1,018	6,42	0,001	
0,83	0,17	0,103	P	1,144	7,22	0,002	P	1,032	6,51	0,001	
0,86	0,14	0,086	P	1,179	7,44	0,002	P	1,048	6,61	0,001	
0,89	0,11	0,069	P	1,218	7,68	0,002	P	1,065	6,72	0,001	
0,91	0,09	0,051	P	1,261	7,96	0,002	P	1,084	6,84	0,001	
0,94	0,06	0,034	P	1,310	8,27	0,002	P	1,105	6,97	0,001	
0,97	0,03	0,017	P	1,366	8,62	0,002	P	1,128	7,12	0,001	
1,00	0,00	0,000	P	1,431	9,03	0,003	P	1,155	7,29	0,001	


n. punti 35 step 0,0286

LAVORO: GALLERIA CHIGHIZZU - SCAVI IN MARNE
 CURVE CARATTERISTICHE DEL TERRENO IN CONDIZIONI NATURALI

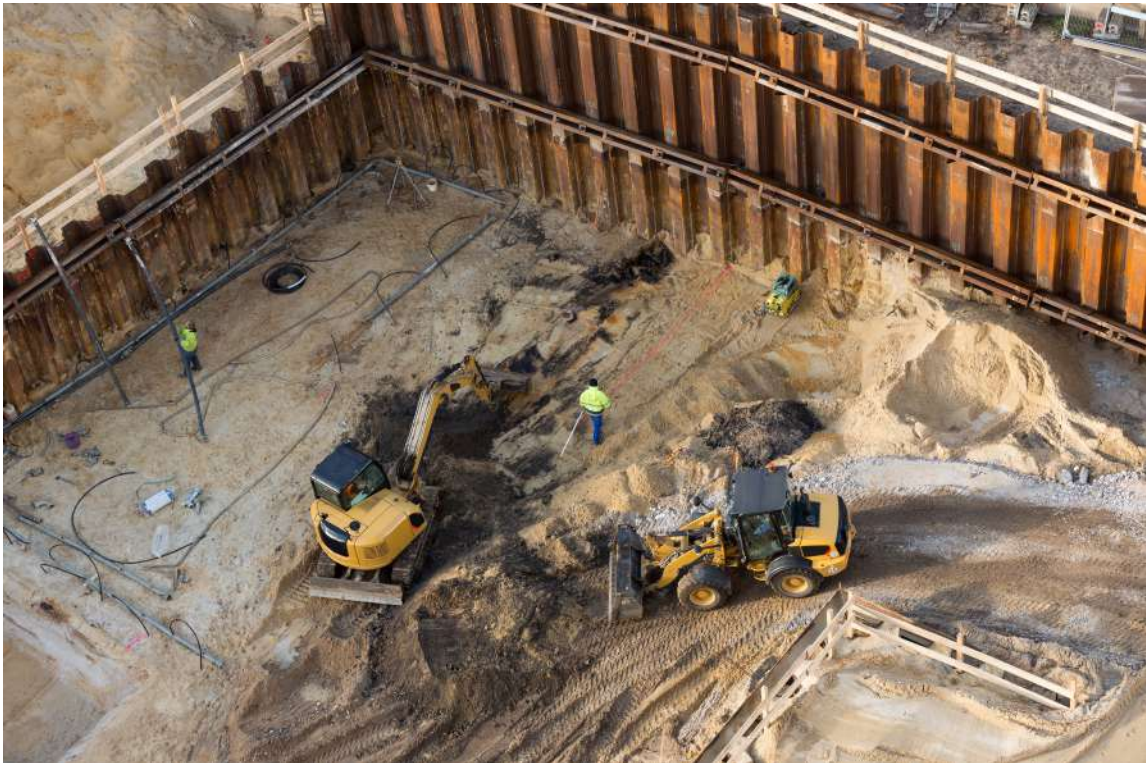


DATI			
Geometria			
<i>a</i>	m		6,31
<i>C</i>	m		30,0
Parametri geotecnici			
γ	MN/m ³		0,0200
ϕ_p	(°)		33
<i>cp</i>	MPa		0,096
ϕ_r	(°)		33
<i>cr</i>	MPa		0,096
<i>E</i>	Mpa		2922
ν			0,3
ψ	(°)		0
Stato di sforzo iniziale			
<i>K0</i>			1,00
σ_0	Mpa		0,60

RISULTATI			
Lontano dal fronte			
<i>Uinf</i>	m		0,003
<i>εinf</i>	%		0,0
<i>Rpinf - a</i>	m		2,7
Al fronte			
<i>Uf</i>	m		0,001
<i>εf</i>	%		0,0
<i>Rpf - a</i>	m		1,0

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

14.3 Output software sezione di calcolo 4+240_valor medi



Chighizzu_med_4+240_Plastic.fez

Project1

Date Created: 02/12/2020, 12:55:30

Software Version: 11.011

Table of Contents

General Settings	3
Analysis Options	3
Field Stress	3
Mesh Quality	3
Poor quality elements defined as:	3
Material Properties	4
Marne_medi	4
Properties changed in Stato di fatto	4
Properties changed in carico idraulico	4
Marne_medi_cons	4
Properties changed in Stato di fatto	5
Properties changed in carico idraulico	5
Liner Properties	5
Liner: Prima fase dx	5
Properties changed in dX_Prima fase_0.65	6
Properties changed in dX_Maturazione spritz_0.7	6
Liner: Arco rovescio dx	6
Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx_0.9	6
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	6
Liner: Muretta dx	7
Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx_0.9	7
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	7
Liner: Calotta dx	7
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	7
Properties changed in dX_Maturazione calotta_1	8
Liner: Prima fase sx	8
Properties changed in sX_Prima fase_0.65	8
Properties changed in sX_Maturazione spritz_0.7	8
Liner: Arco rovescio sx	8
Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9	9
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	9
Liner: Muretta sx	9
Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9	9
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	9
Liner: Calotta sx	10
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	10
Properties changed in sX_Maturazione calotta_1	10
Composite Liner Properties	10

General Settings

Number of Stages:	16
Analysis Type:	Plane Strain
Solver Type:	Gaussian Elimination
Units:	Metric, stress as MPa
Permeability Units:	meters/second
Time Units:	seconds

Analysis Options

Maximum Number of Iterations:	1000
Tolerance:	0.001
Number of Load Steps:	Automatic
Convergence Type:	Absolute Energy
Tensile Failure:	Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01	

Field Stress

Field stress:	Gravity
Using actual ground surface	
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane):	1
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane):	1
Locked-in horizontal stress (in-plane):	0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane):	0

Mesh Quality

All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00

Minimum interior angle < 2.0 degrees


Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

Displacements reset after:	Stato di fatto
----------------------------	----------------

Material Properties


Marne_medi

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	2922 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	4.8 MPa
mb Parameter	1.403
s Parameter	0.00674
a Parameter	0.504
Residual mb Parameter	1.403
Residual s Parameter	0.00674
Residual a Parameter	0.504
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	None
Hu Value	1

Properties changed in Stato di fatto

Properties changed in carico idraulico

Marne_medi_cons


Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	3000 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	4.8 MPa
mb Parameter	1.403
s Parameter	0.00674
a Parameter	0.504
Residual mb Parameter	1.403
Residual s Parameter	0.00674
Residual a Parameter	0.504
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	None
Hu Value	1

Properties changed in Stato di fatto

Properties changed in carico idraulico

Liner Properties

Liner: Prima fase dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	24914.9 MPa
Equivalent thickness	0.249872 m
Poisson ratio	0
Reinforcement Properties	
Spacing	0.6 m
Section Depth	0.18 m
Area	0.00279 m ²
Moment of inertia	1.444e-05 m ⁴
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	261.9 MPa
Tensile strength	261.9 MPa
Concrete Properties	
Thickness	0.25 m
Young's modulus	20000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	15.87 MPa
Tensile strength	0.01 MPa

Properties changed in dX Prima fase 0.65

Young's modulus: 10000 MPa (factor = 0.5)


Compressive strength: 6.99867 MPa (factor = 0.441)

Properties changed in dX Maturazione spritz 0.7

Young's modulus: 20000 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 15.87 MPa (factor = 1)

Liner: Arco rovescio dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.7 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.7 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Muretta dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.8 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.8 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Calotta dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.6 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.6 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX Maturazione calotta 1

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Prima fase sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	24914.9 MPa
Equivalent thickness	0.249872 m
Poisson ratio	0
Reinforcement Properties	
Spacing	0.6 m
Section Depth	0.18 m
Area	0.00279 m ²
Moment of inertia	1.444e-05 m ⁴
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	261.9 MPa
Tensile strength	261.9 MPa
Concrete Properties	
Thickness	0.25 m
Young's modulus	20000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	15.87 MPa
Tensile strength	0.01 MPa

Properties changed in sX Prima fase 0.65

Young's modulus: 10000 MPa (factor = 0.5)


Compressive strength: 6.99867 MPa (factor = 0.441)

Properties changed in sX Maturazione spritz 0.7

Young's modulus: 20000 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 15.87 MPa (factor = 1)

Liner: Arco rovescio sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.7 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.7 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in sX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Muretta sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.8 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.8 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in sX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Calotta sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.6 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.6 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)

Properties changed in sX_Maturazione calotta_1

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Composite Liner Properties

Composite name:	Composito_Calotta dx
Layer 1: Prima fase dx	
Layer 2: Calotta dx with 3 stage delay	
Composite name:	Composito_Muretta dx
Layer 1: Prima fase dx	
Layer 2: Muretta dx with 2 stage delay	
Composite name:	Composito_Calotta sx
Layer 1: Prima fase sx	
Layer 2: Calotta sx with 3 stage delay	
Composite name:	Composito_Muretta sx
Layer 1: Prima fase sx	
Layer 2: Muretta sx with 2 stage delay	

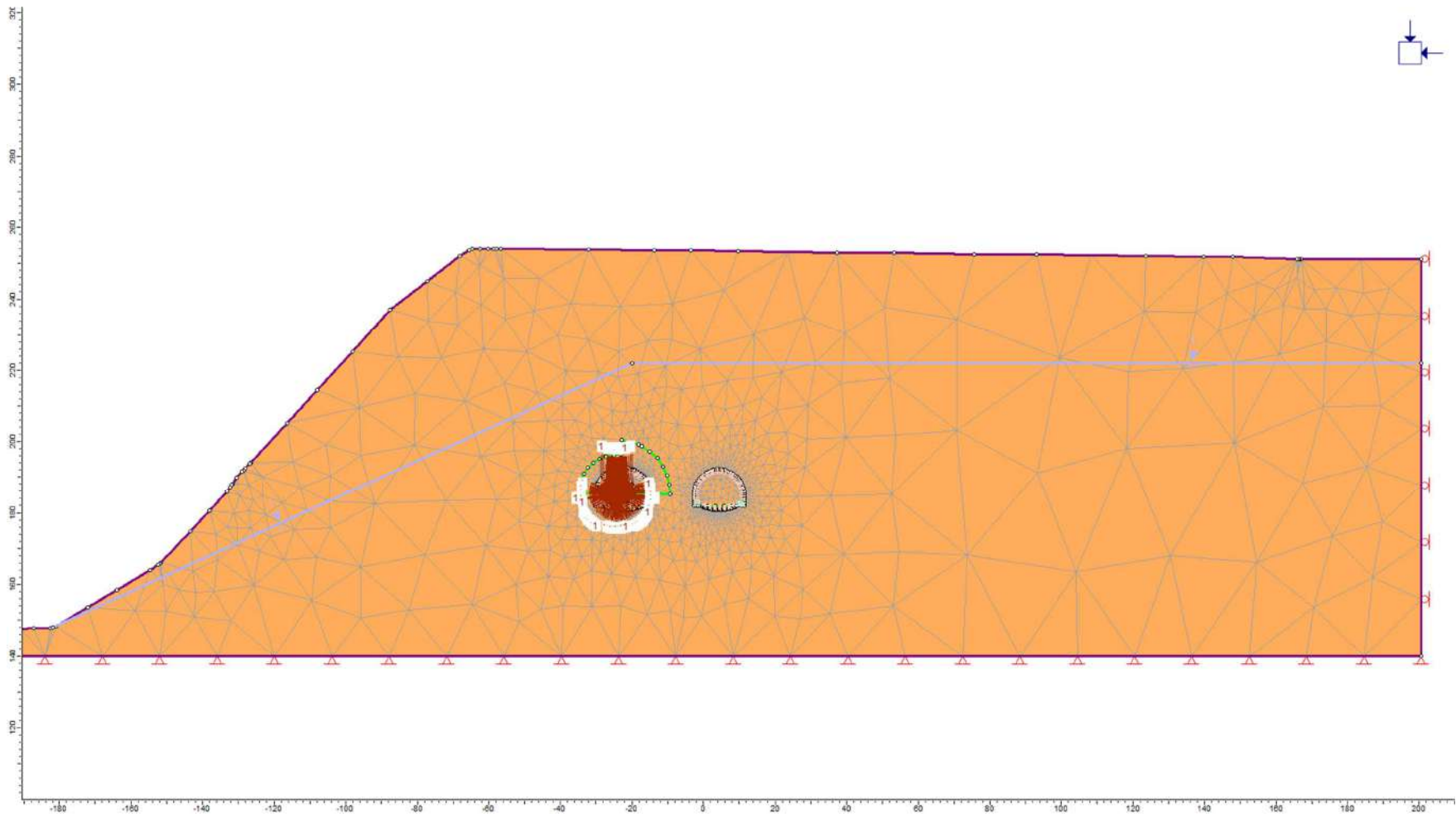


Figura: Fase 1_Modello.

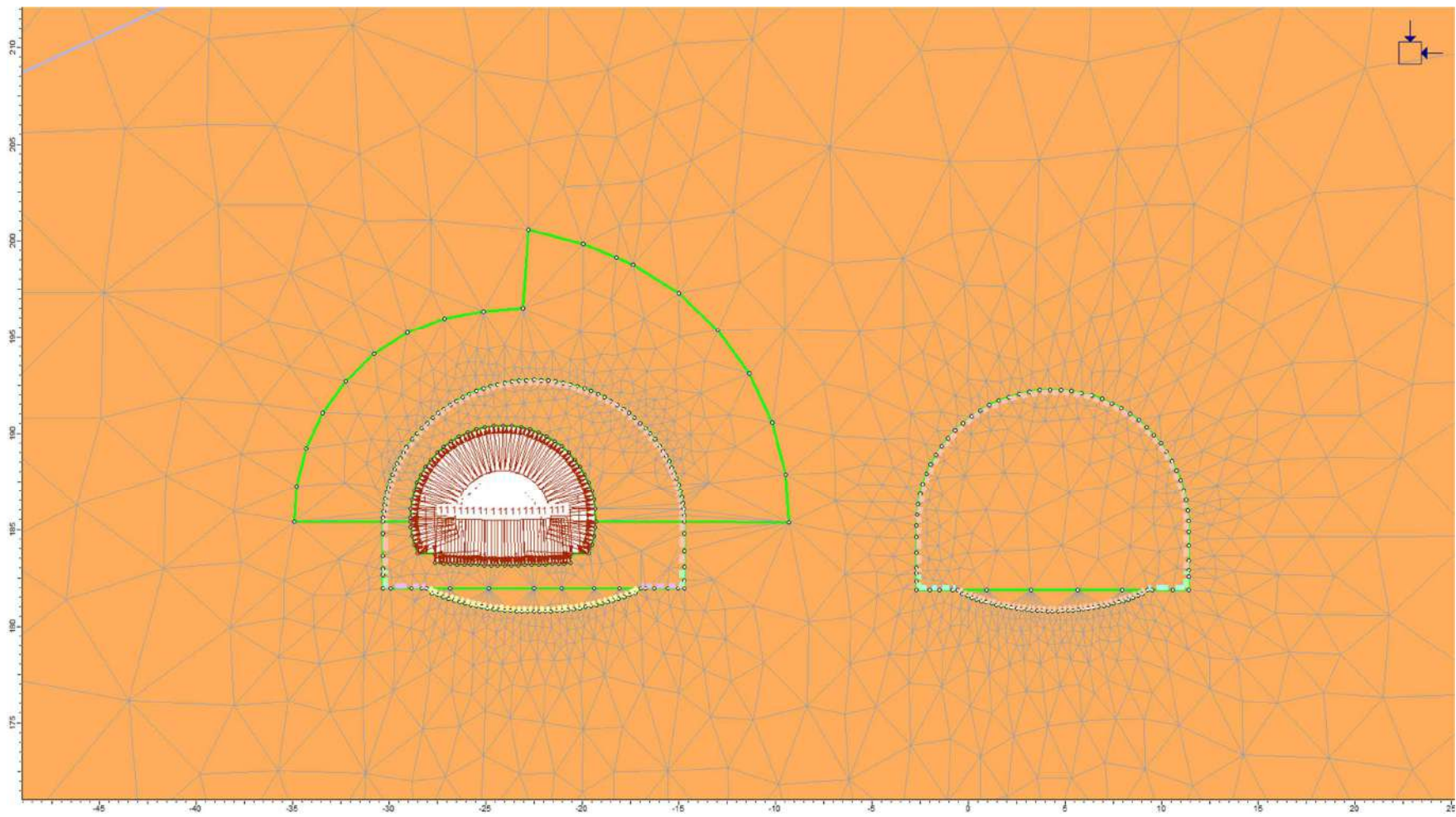


Figura: Fase 1_Modello zoom.

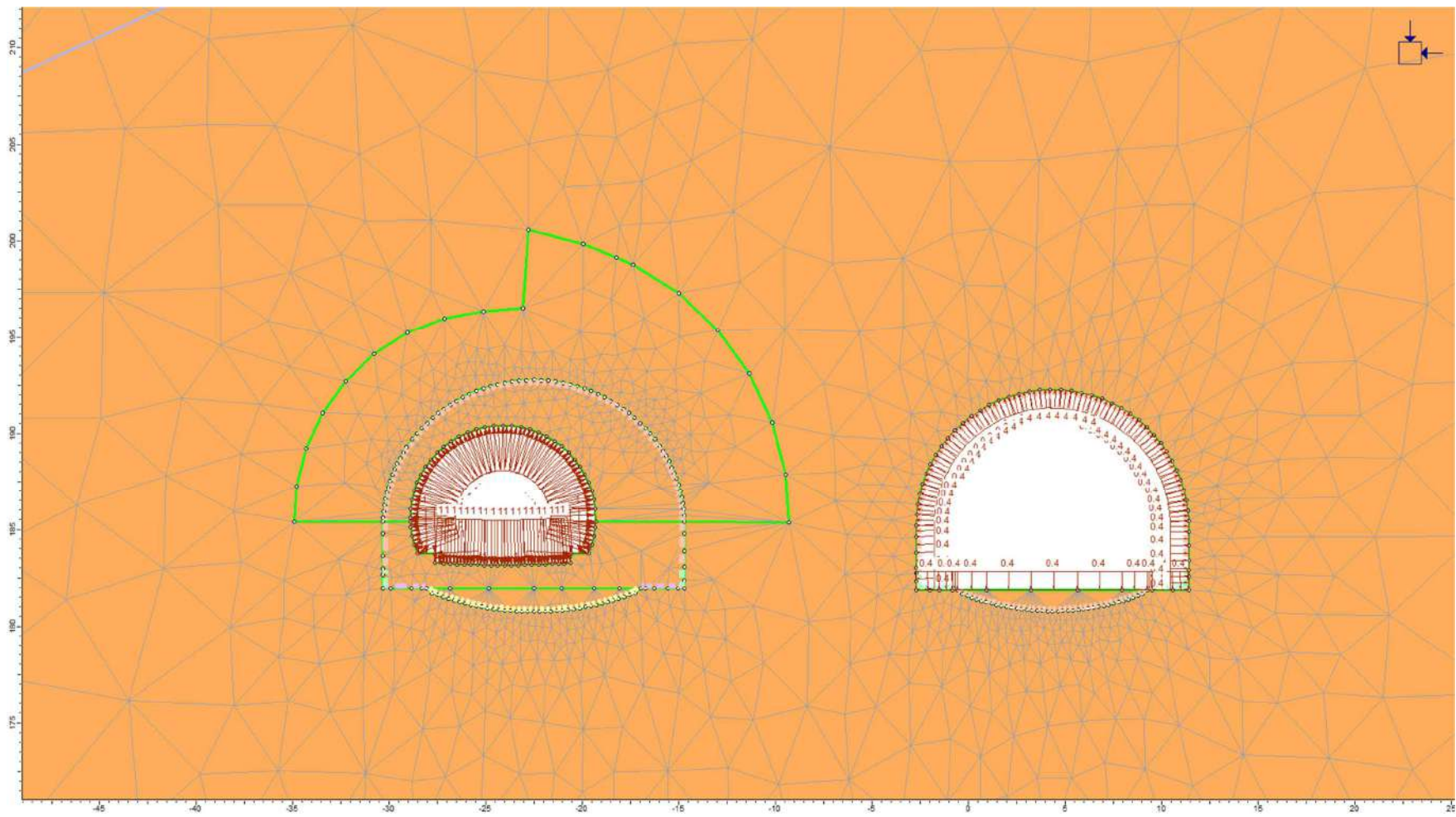


Figura: Fase 2_Modello.

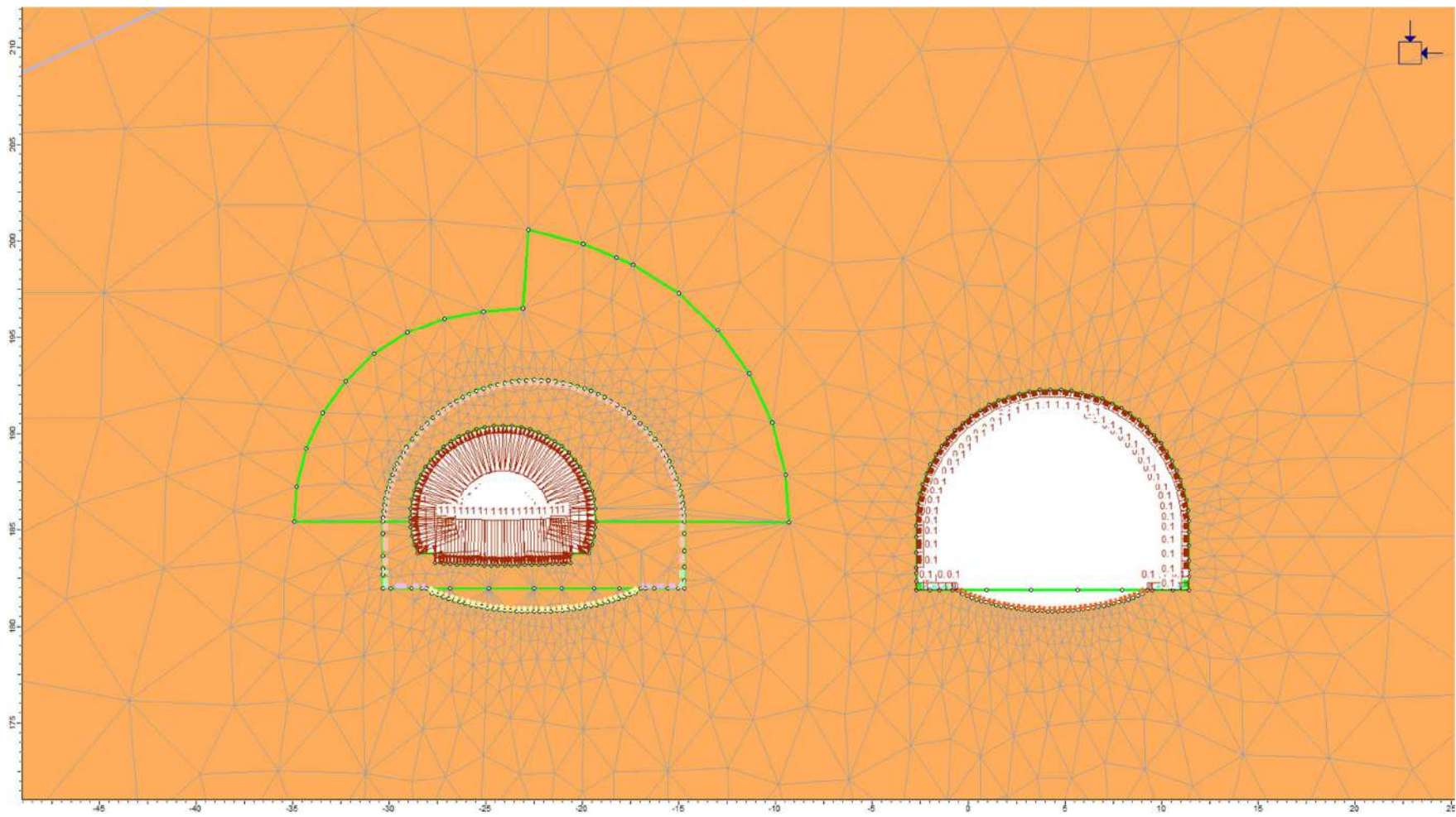


Figura: Fase 5_Modello.

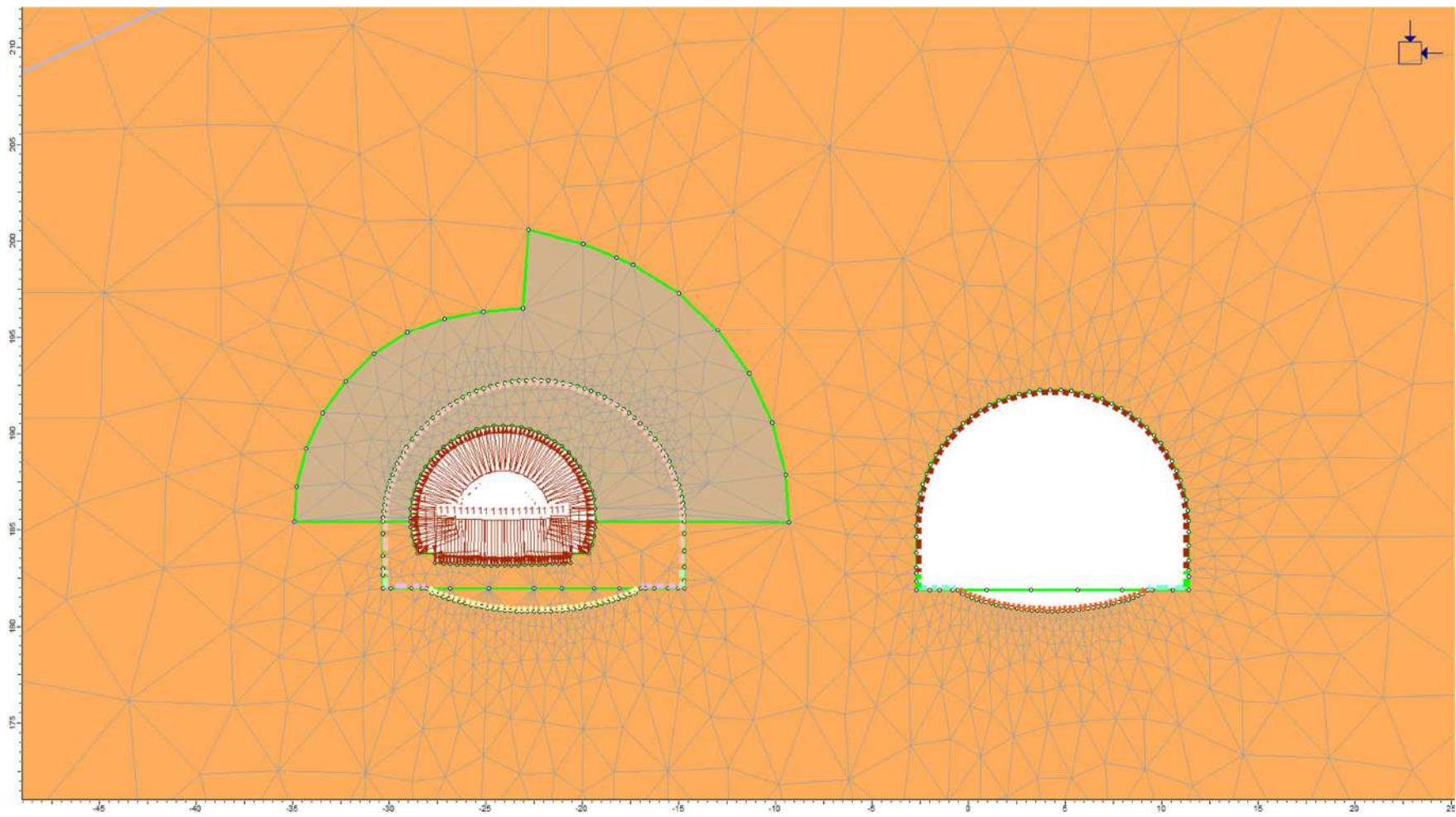


Figura: Fase 8_Modello.

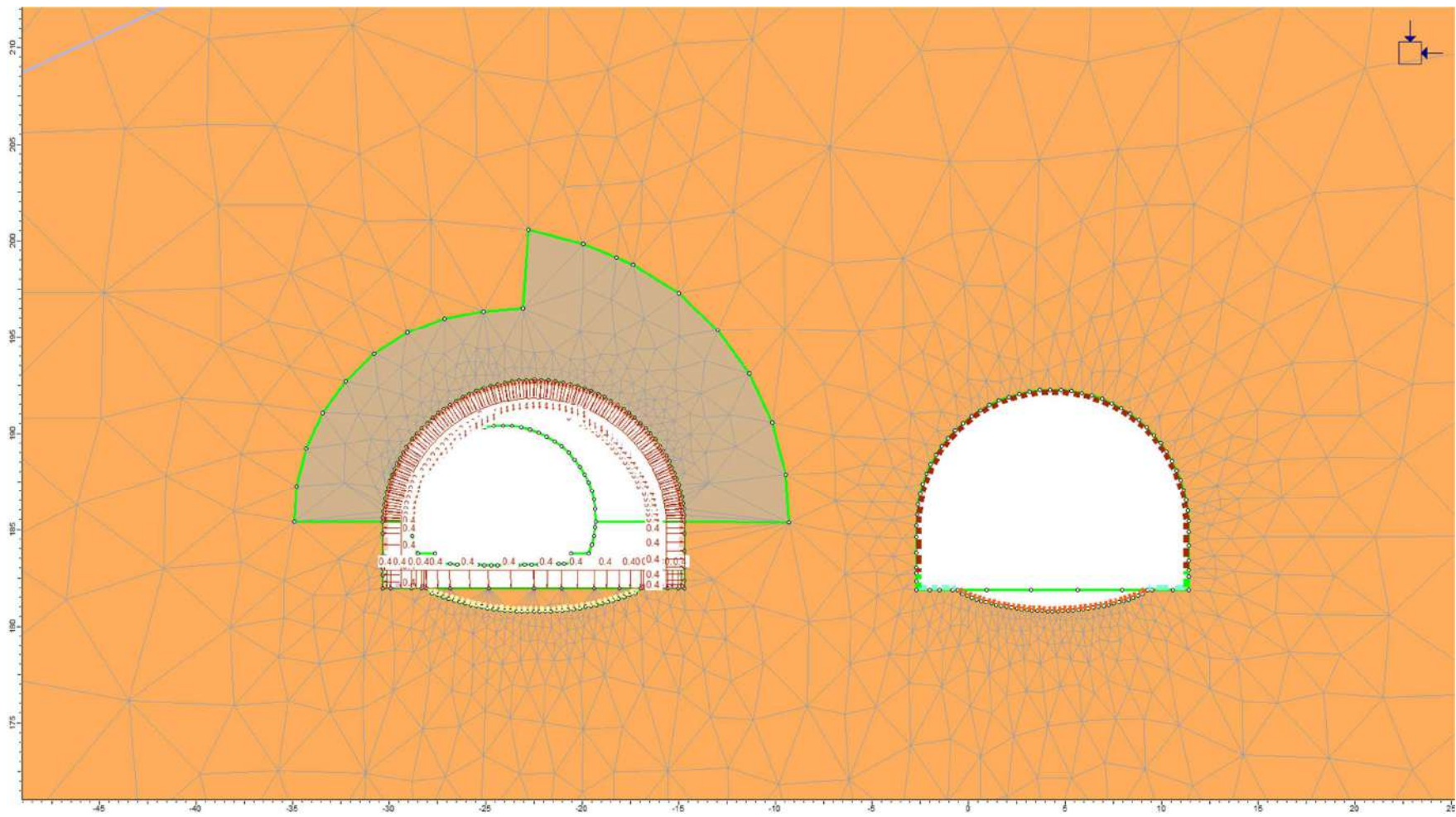


Figura: Fase 9_Modello.

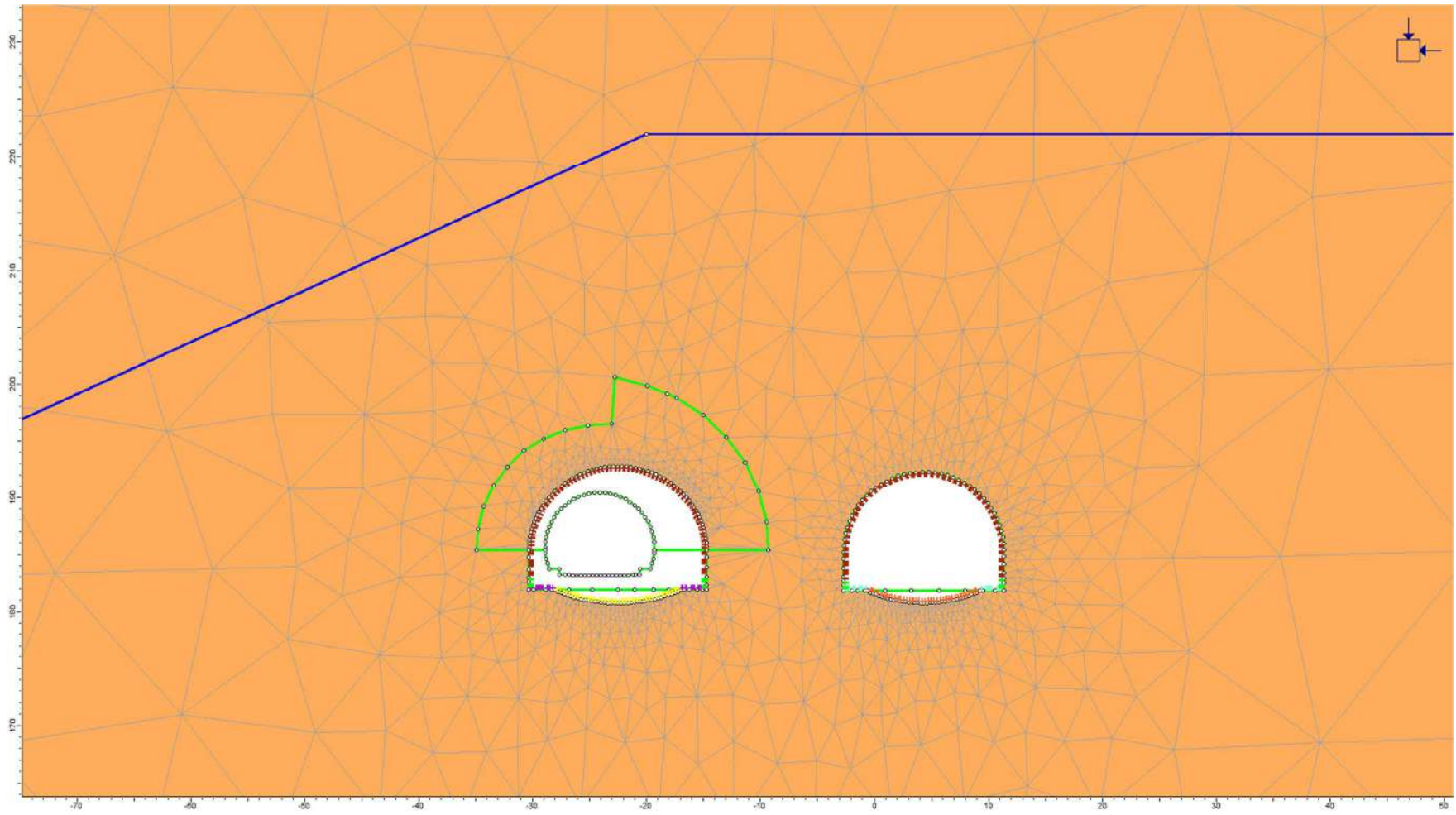


Figura: Fase 16_Modello.

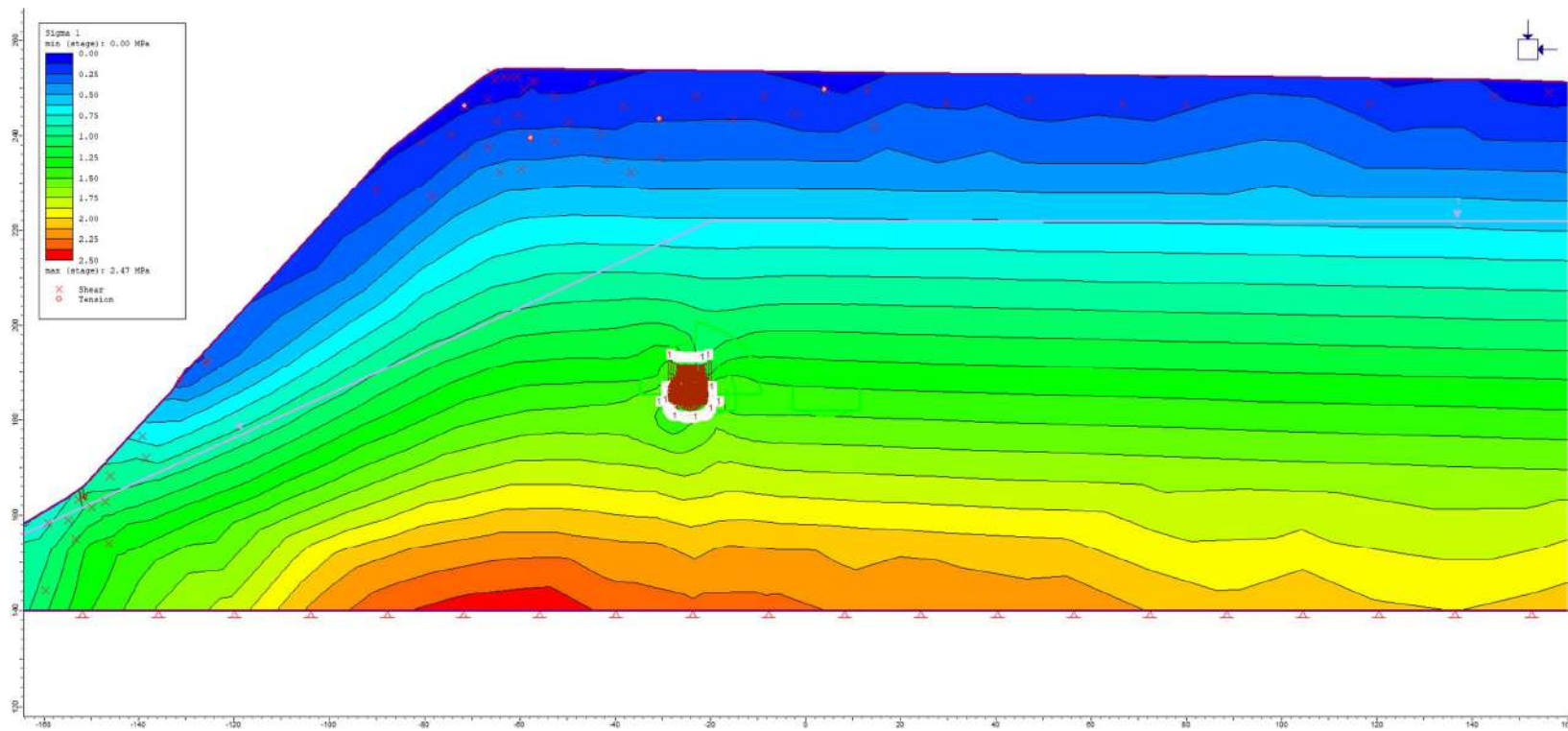


Figura: Fase 1_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

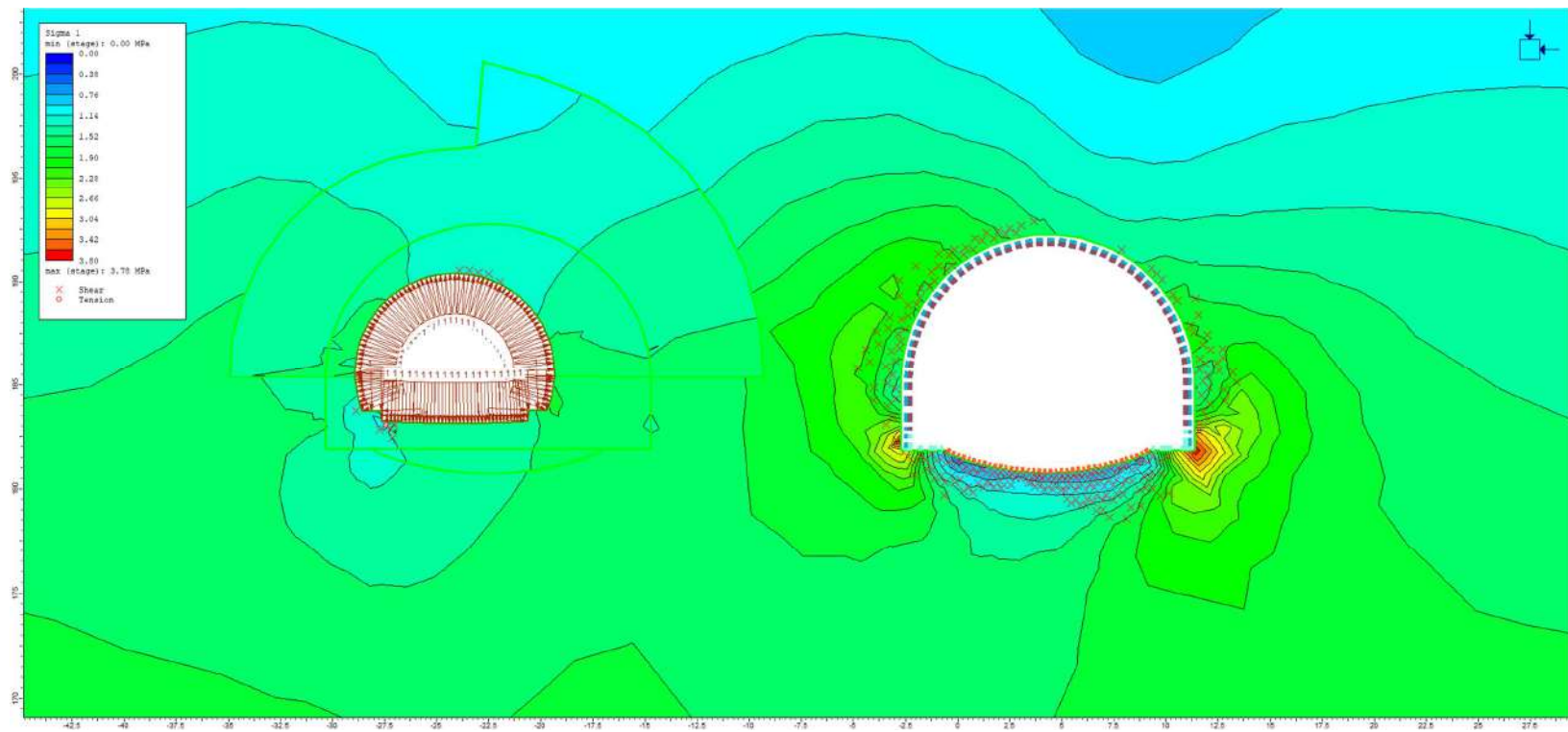


Figura: Fase 8_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

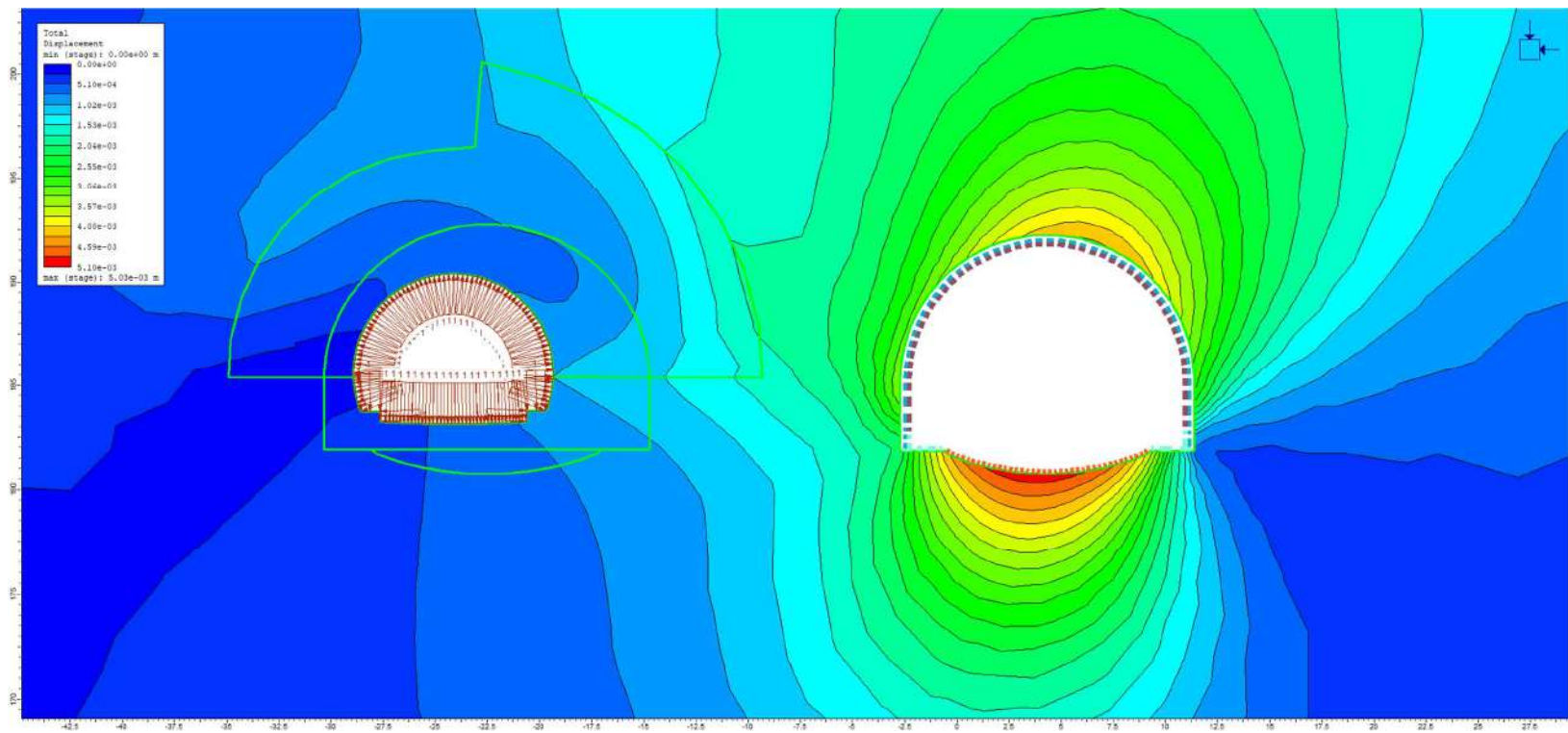


Figura: Fase 8_Risultati – Spostamenti totali.

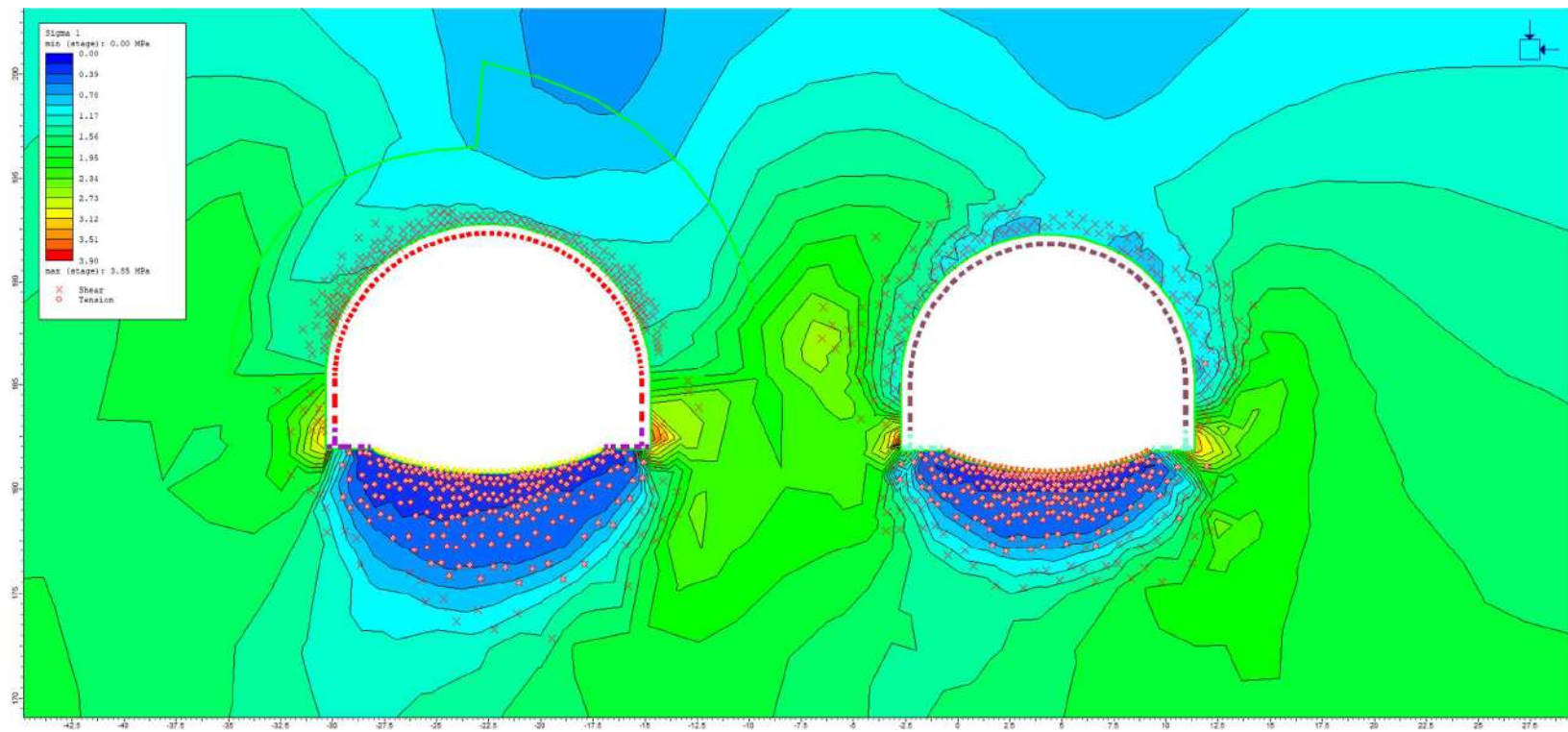


Figura: Fase 16_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

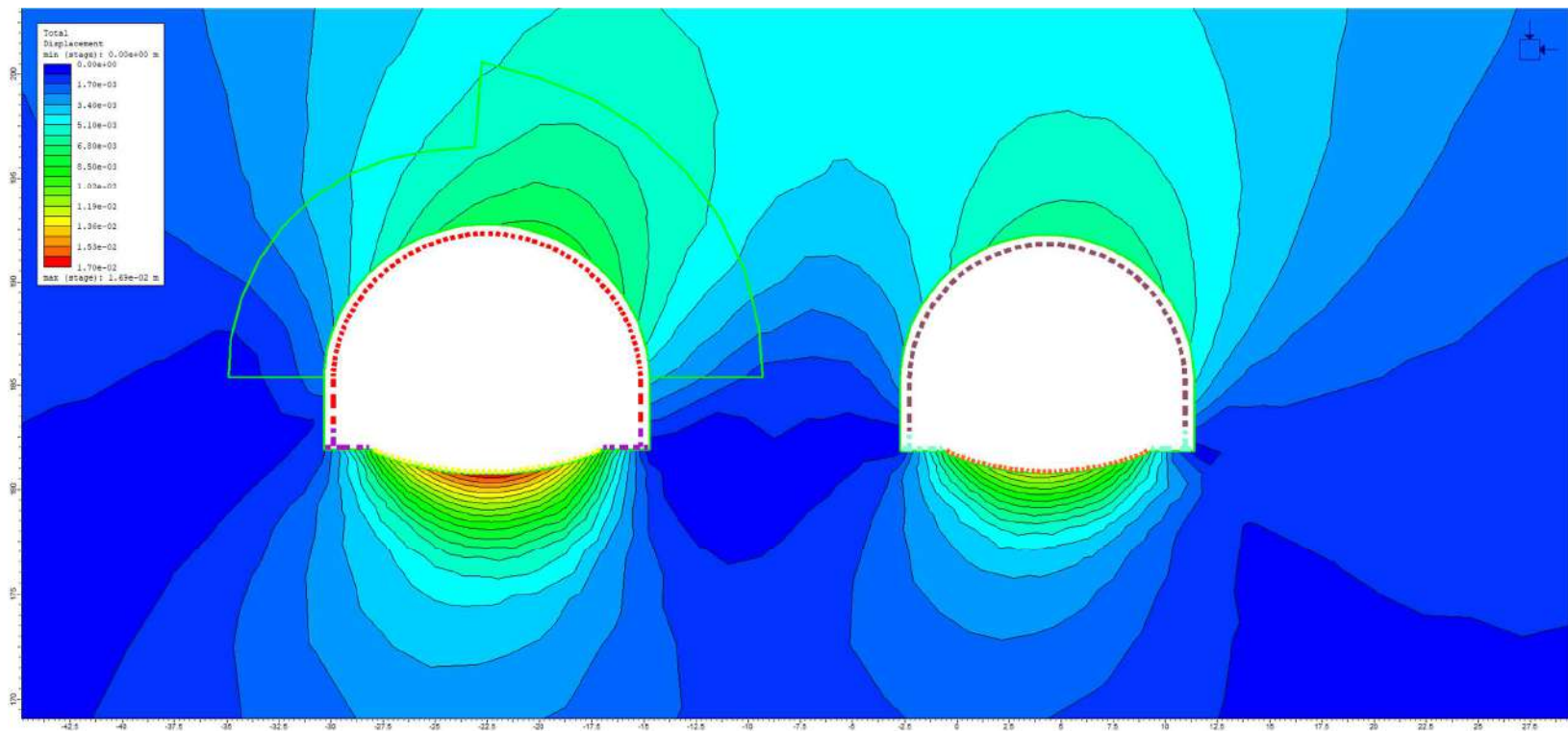


Figura: Fase 16_Risultati – Spostamenti totali.

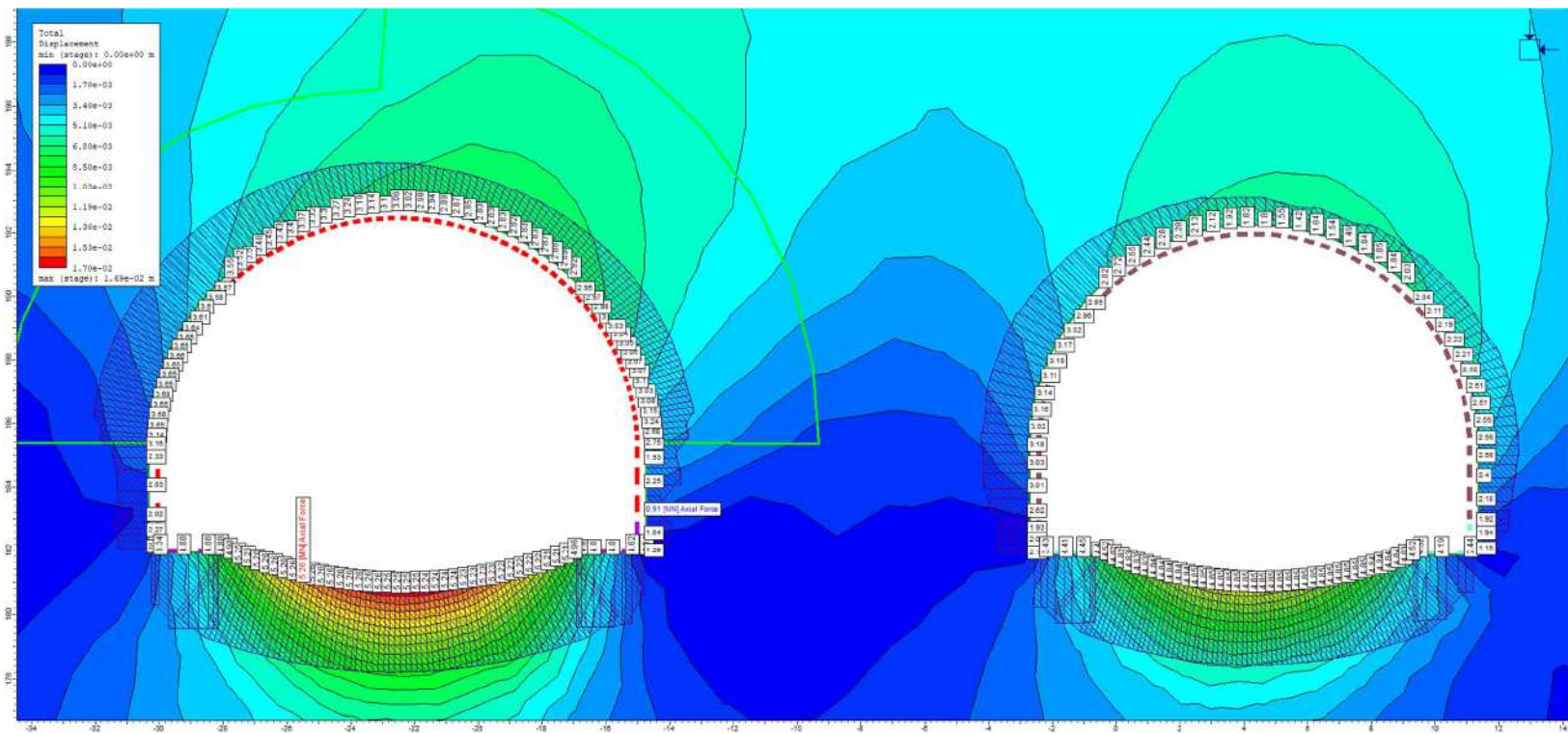


Figura: Fase 16_Risultati – Sforzi normali su rivestimento definitivo.

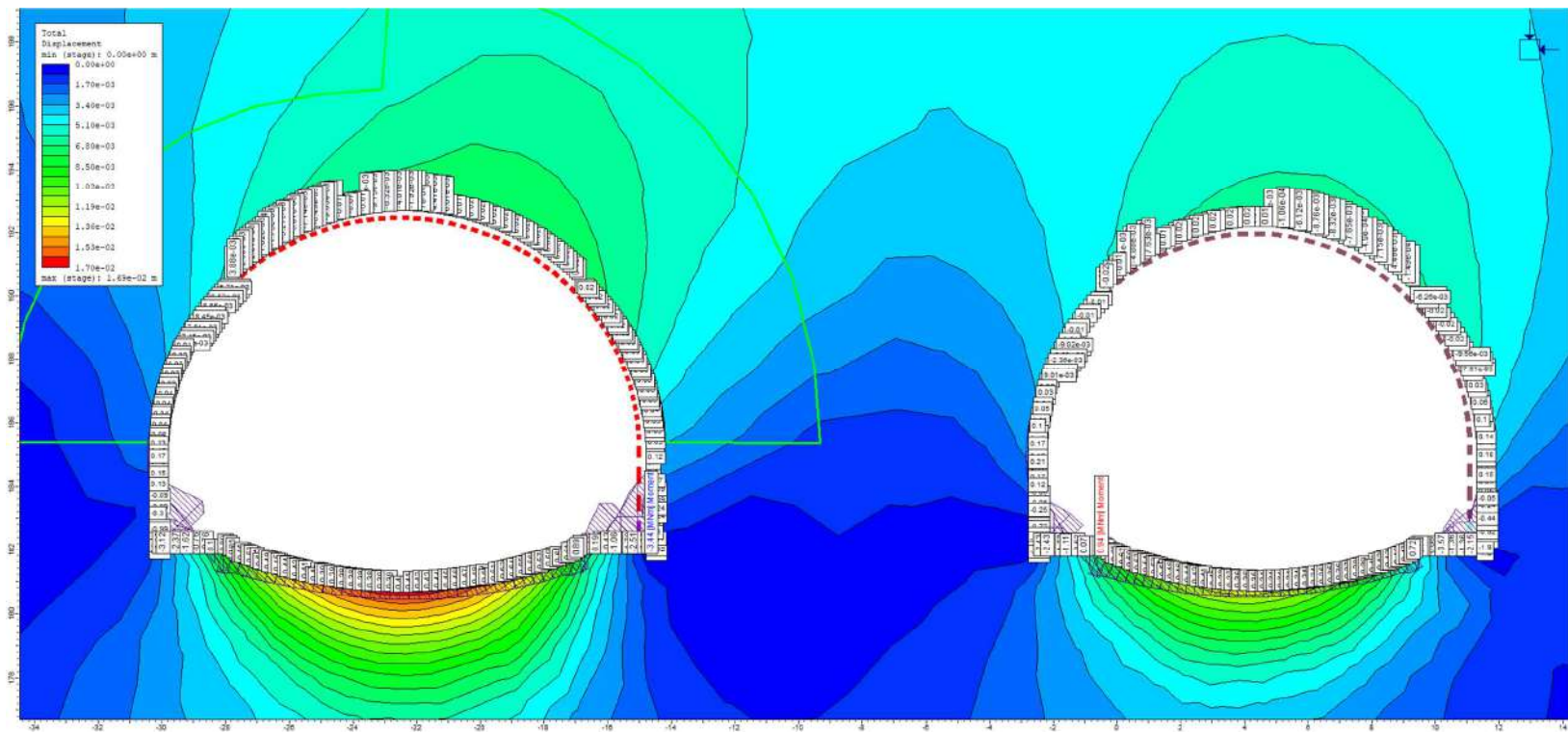


Figura: Fase 16_Risultati – Momenti su rivestimento definitivo.

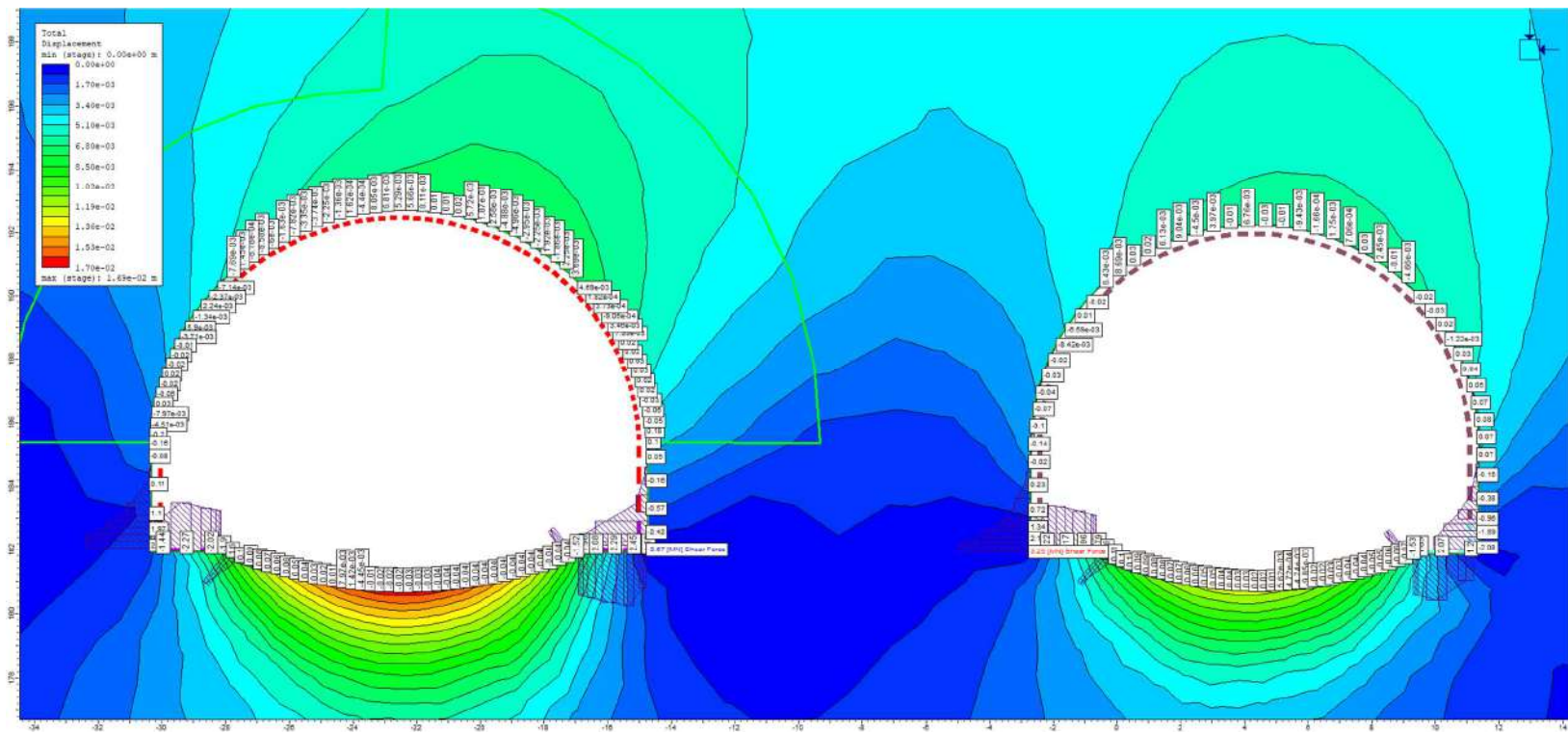

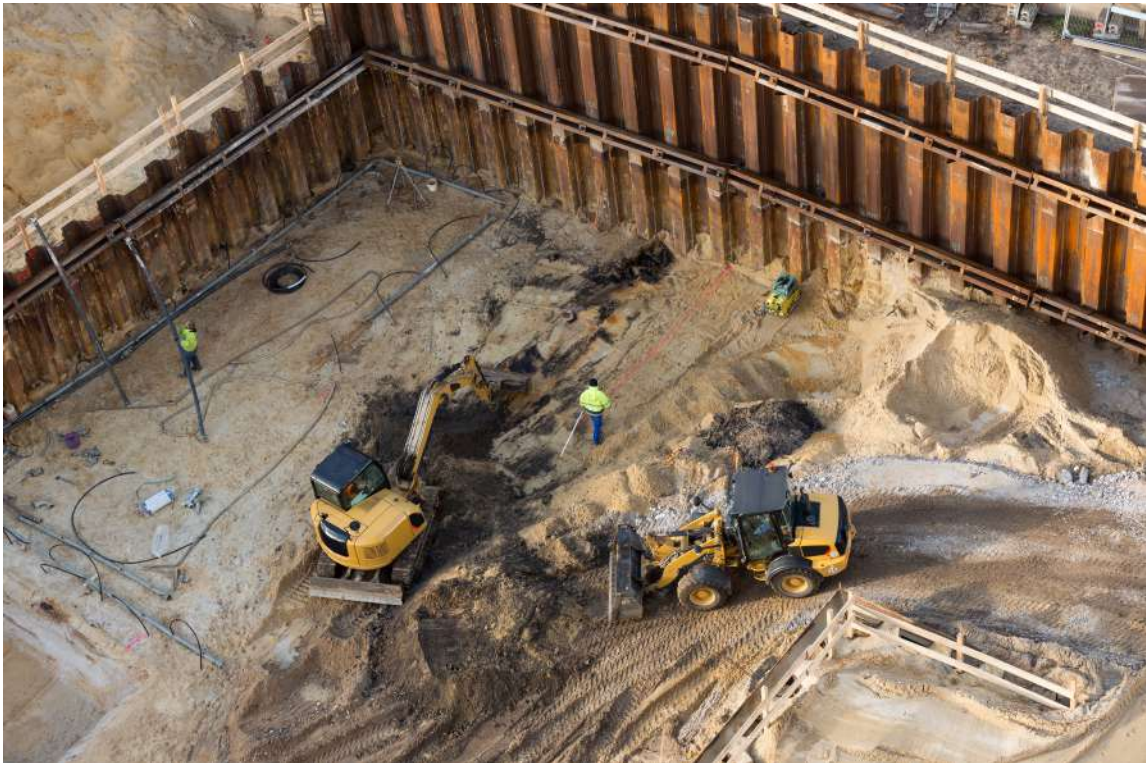


Figura: Fase 16_Risultati – Sforzi di taglio su rivestimento definitivo.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

14.4 Output software sezione di calcolo 4+240_valor minimi



Chighizzu_min_4+240_Plastic.fez
Date Created: 02/12/2020, 12:55:30
Software Version: 11.011

Table of Contents

General Settings	3
Analysis Options	3
Field Stress	3
Mesh Quality	3
Poor quality elements defined as:	3
Material Properties	4
Marne_min	4
Properties changed in Stato di fatto	4
Properties changed in carico idraulico	4
Marne_min_consolidate	4
Properties changed in Stato di fatto	5
Properties changed in carico idraulico	5
Marne_medi	5
Properties changed in Stato di fatto	6
Properties changed in carico idraulico	6
Liner Properties	6
Liner: Prima fase dx	6
Properties changed in dX_Prima fase_0.65	6
Properties changed in dX_Maturazione spritz_0.7	6
Liner: Arco rovescio dx	6
Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx_0.9	7
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	7
Liner: Muretta dx	7
Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx_0.9	7
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	7
Liner: Calotta dx	8
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	8
Properties changed in dX_Maturazione calotta_1	8
Liner: Prima fase sx	8
Properties changed in sX_Prima fase_0.65	9
Properties changed in sX_Maturazione spritz_0.7	9
Liner: Arco rovescio sx	9
Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9	9
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	9
Liner: Muretta sx	10
Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9	10
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	10
Liner: Calotta sx	10
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	10
Properties changed in sX_Maturazione calotta_1	11
Composite Liner Properties	11

General Settings

Number of Stages:	16
Analysis Type:	Plane Strain
Solver Type:	Gaussian Elimination
Units:	Metric, stress as MPa
Permeability Units:	meters/second
Time Units:	seconds

Analysis Options

Maximum Number of Iterations:	500
Tolerance:	0.001
Number of Load Steps:	Automatic
Convergence Type:	Absolute Energy
Tensile Failure:	Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01	

Field Stress

Field stress:	Gravity
Using actual ground surface	
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane):	1
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane):	1
Locked-in horizontal stress (in-plane):	0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane):	0

Mesh Quality

All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00

Minimum interior angle < 2.0 degrees


Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

Displacements reset after:	Stato di fatto
----------------------------	----------------

Material Properties


Marne_min

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	750 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	1 MPa
mb Parameter	0.982
s Parameter	0.00222
a Parameter	0.508
Residual mb Parameter	0.982
Residual s Parameter	0.00222
Residual a Parameter	0.508
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	None
Hu Value	1

Properties changed in Stato di fatto

Properties changed in carico idraulico


Marne_min_consolidate

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	1250 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	1 MPa
mb Parameter	0.982
s Parameter	0.00222
a Parameter	0.508
Residual mb Parameter	0.982
Residual s Parameter	0.00222
Residual a Parameter	0.508
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	None
Hu Value	1

Properties changed in Stato di fatto

Properties changed in carico idraulico


Marne_medi

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	2922 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	4.8 MPa
mb Parameter	1.403
s Parameter	0.00674
a Parameter	0.504
Residual mb Parameter	1.403
Residual s Parameter	0.00674
Residual a Parameter	0.504
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	None
Hu Value	1

Properties changed in Stato di fatto**Properties changed in carico idraulico**

Liner Properties

Liner: Prima fase dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	24914.9 MPa
Equivalent thickness	0.249872 m
Poisson ratio	0
Reinforcement Properties	
Spacing	0.6 m
Section Depth	0.18 m
Area	0.00279 m ²
Moment of inertia	1.444e-05 m ⁴
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	261.9 MPa
Tensile strength	261.9 MPa
Concrete Properties	
Thickness	0.25 m
Young's modulus	20000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	15.87 MPa
Tensile strength	0.01 MPa

Properties changed in dX Prima fase 0.65

Young's modulus: 10000 MPa (factor = 0.5)


Compressive strength: 6.99867 MPa (factor = 0.441)

Properties changed in dX Maturazione spritz 0.7

Young's modulus: 20000 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 15.87 MPa (factor = 1)

Liner: Arco rovescio dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.7 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.7 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX_maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Muretta dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.8 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.8 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX_maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Calotta dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.6 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.6 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX_Maturazione calotta_1

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Prima fase sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	24914.9 MPa
Equivalent thickness	0.249872 m
Poisson ratio	0
Reinforcement Properties	
Spacing	0.6 m
Section Depth	0.18 m
Area	0.00279 m ²
Moment of inertia	1.444e-05 m ⁴
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	261.9 MPa
Tensile strength	261.9 MPa
Concrete Properties	
Thickness	0.25 m
Young's modulus	20000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	15.87 MPa
Tensile strength	0.01 MPa

Properties changed in sX Prima fase 0.65

Young's modulus: 10000 MPa (factor = 0.5)


Compressive strength: 6.99867 MPa (factor = 0.441)

Properties changed in sX Maturazione spritz 0.7

Young's modulus: 20000 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 15.87 MPa (factor = 1)

Liner: Arco rovescio sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.7 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.7 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in sX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Muretta sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.8 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.8 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in sX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Calotta sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.6 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.6 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)

Properties changed in sX Maturazione calotta 1

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Composite Liner Properties

Composite name:	Composito_Calotta dx
Layer 1: Prima fase dx	
Layer 2: Calotta dx with 3 stage delay	
Composite name:	Composito_Muretta dx
Layer 1: Prima fase dx	
Layer 2: Muretta dx with 2 stage delay	
Composite name:	Composito_Calotta sx
Layer 1: Prima fase sx	
Layer 2: Calotta sx with 3 stage delay	
Composite name:	Composito_Muretta sx
Layer 1: Prima fase sx	
Layer 2: Muretta sx with 2 stage delay	

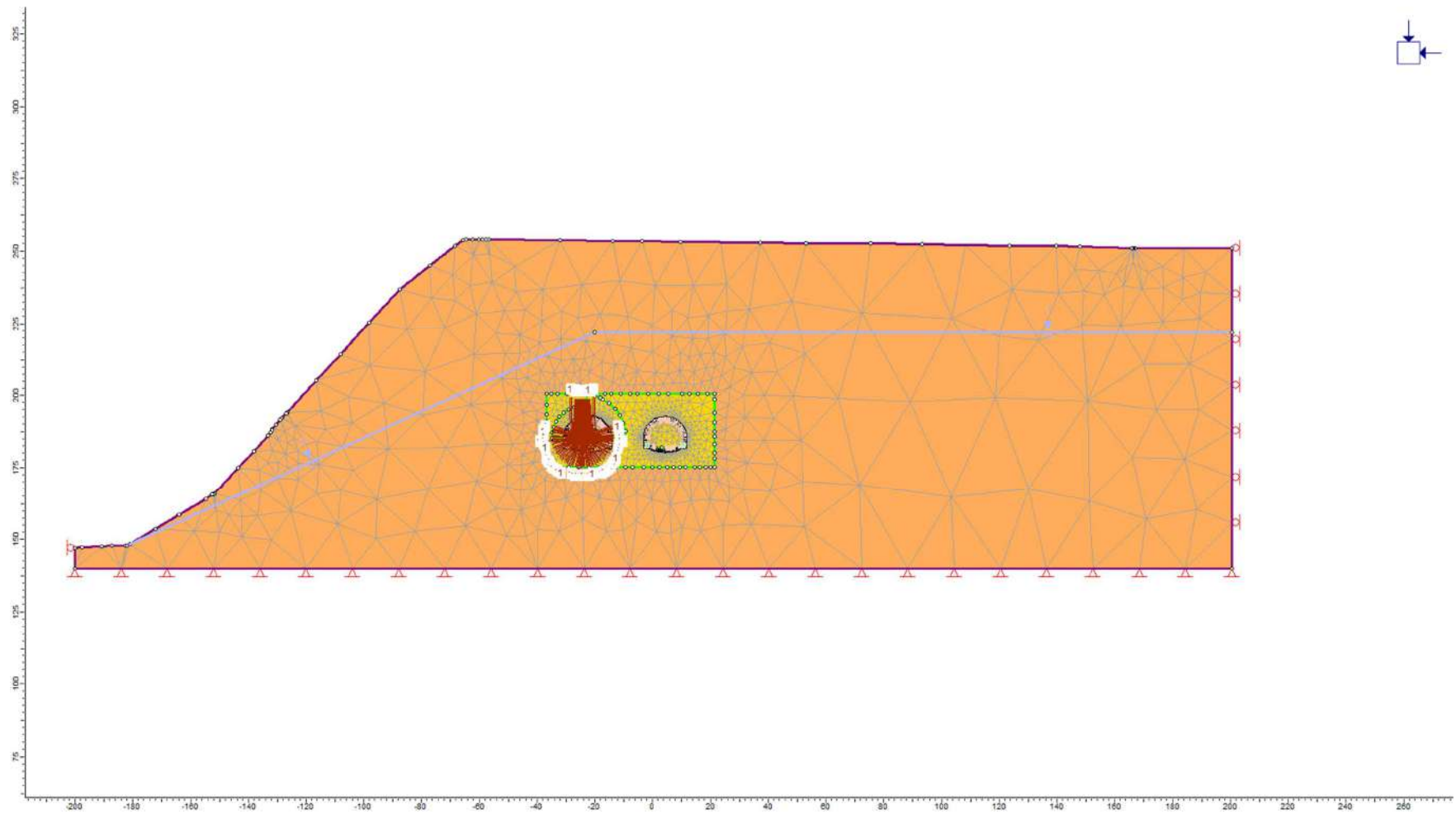


Figura: Fase 1_Modello.

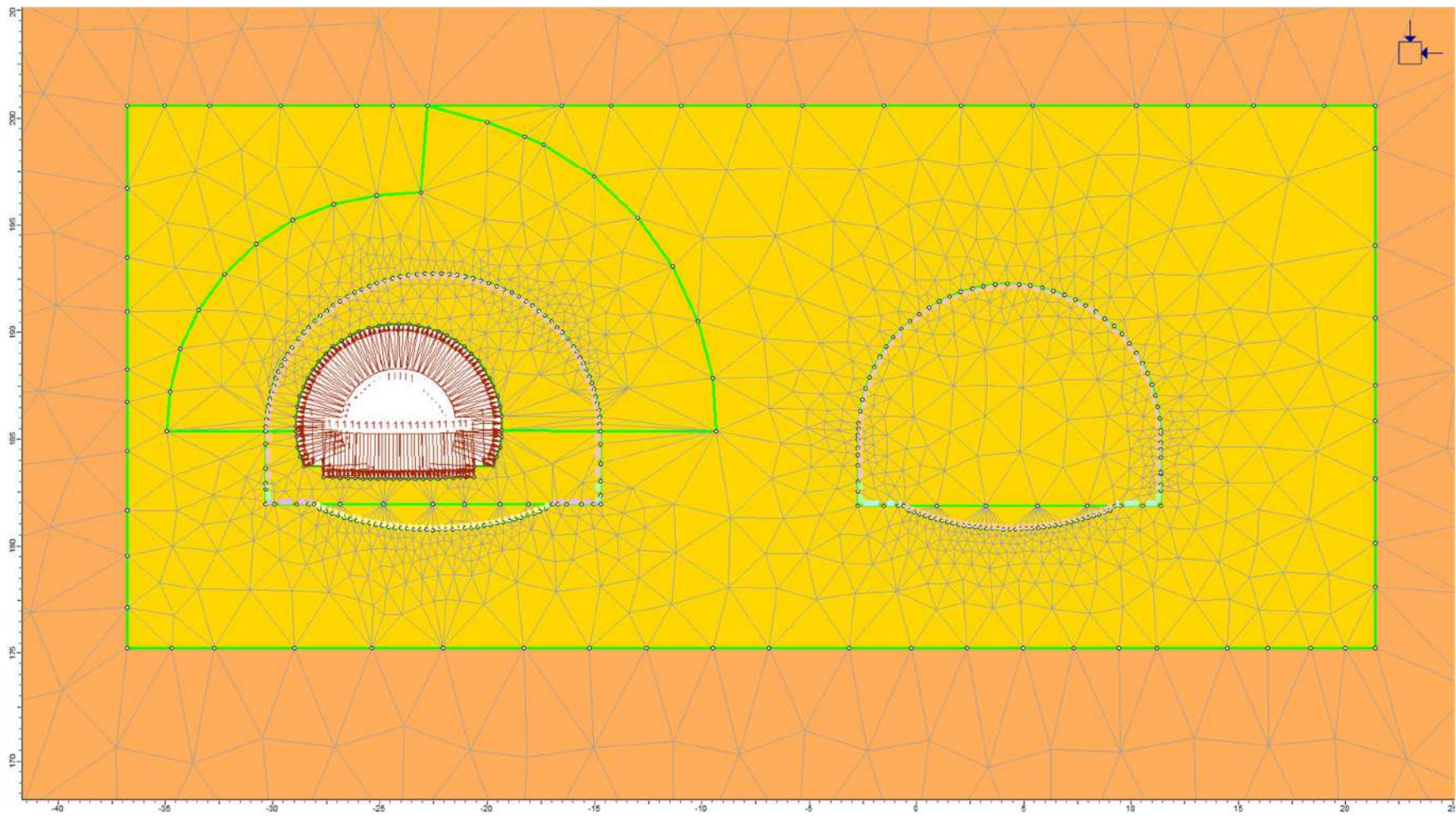


Figura: Fase 1_Modello zoom.

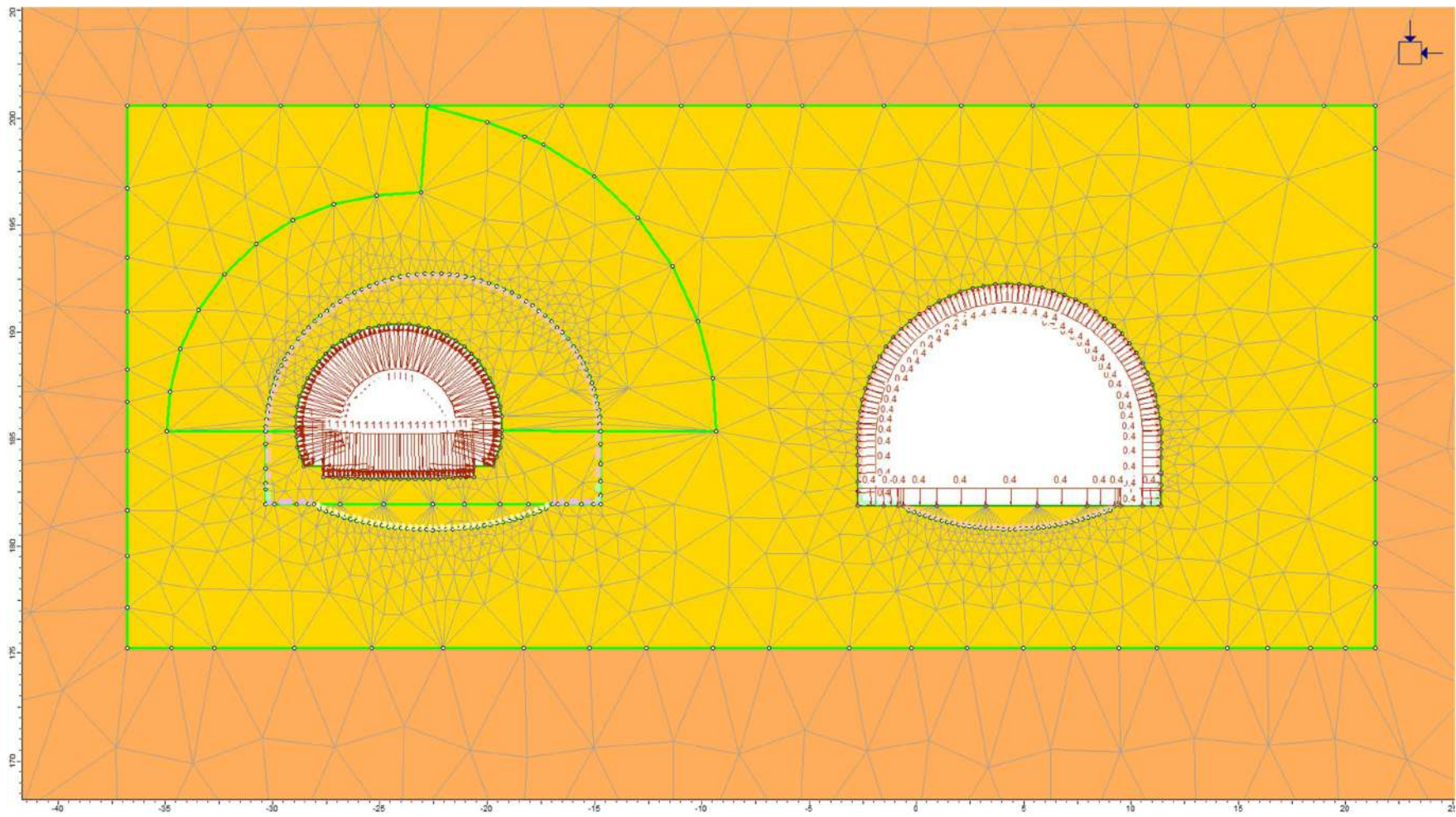


Figura: Fase 2_Modello.

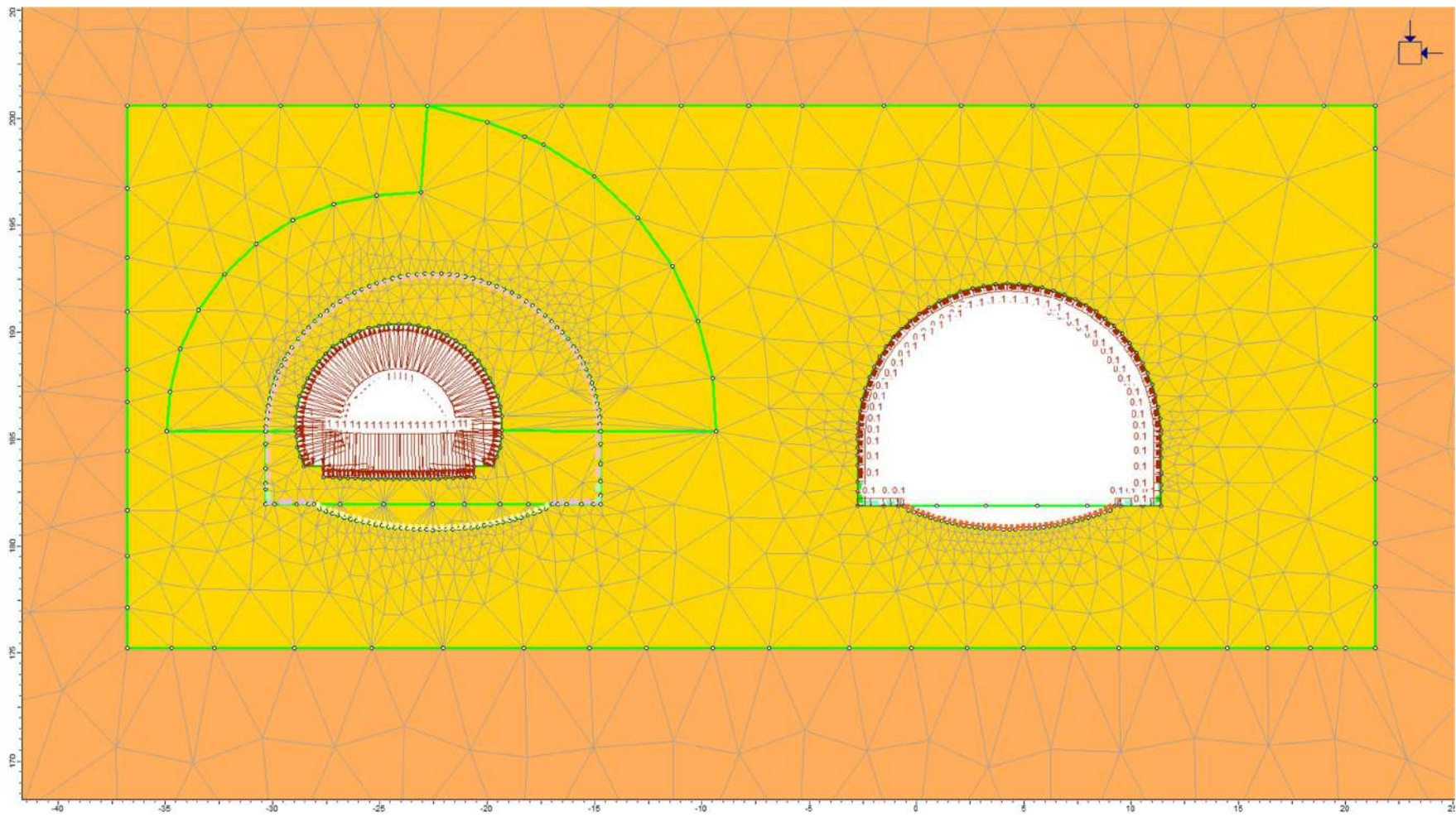


Figura: Fase 5_Modello.

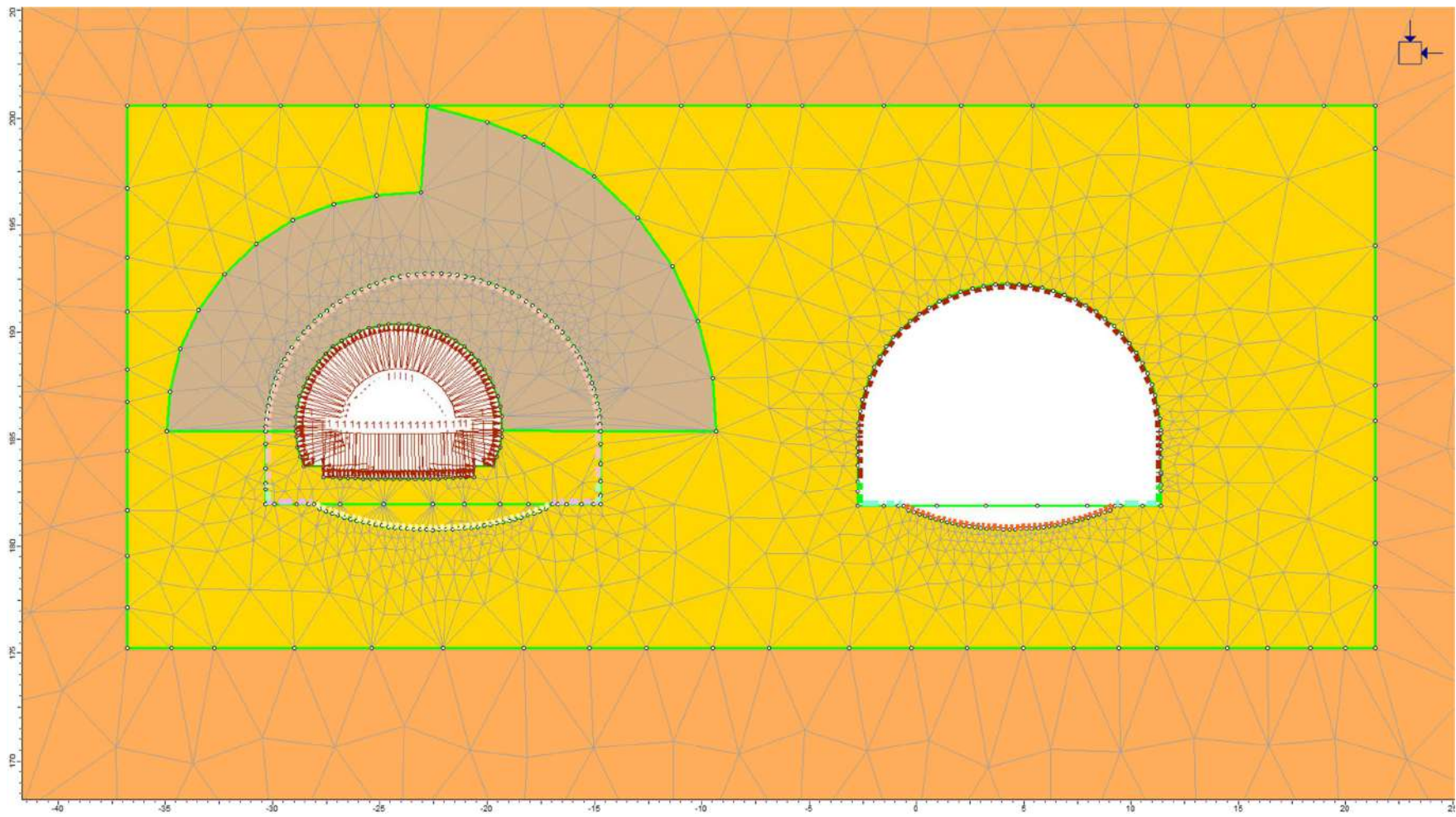


Figura: Fase 8_Modello.

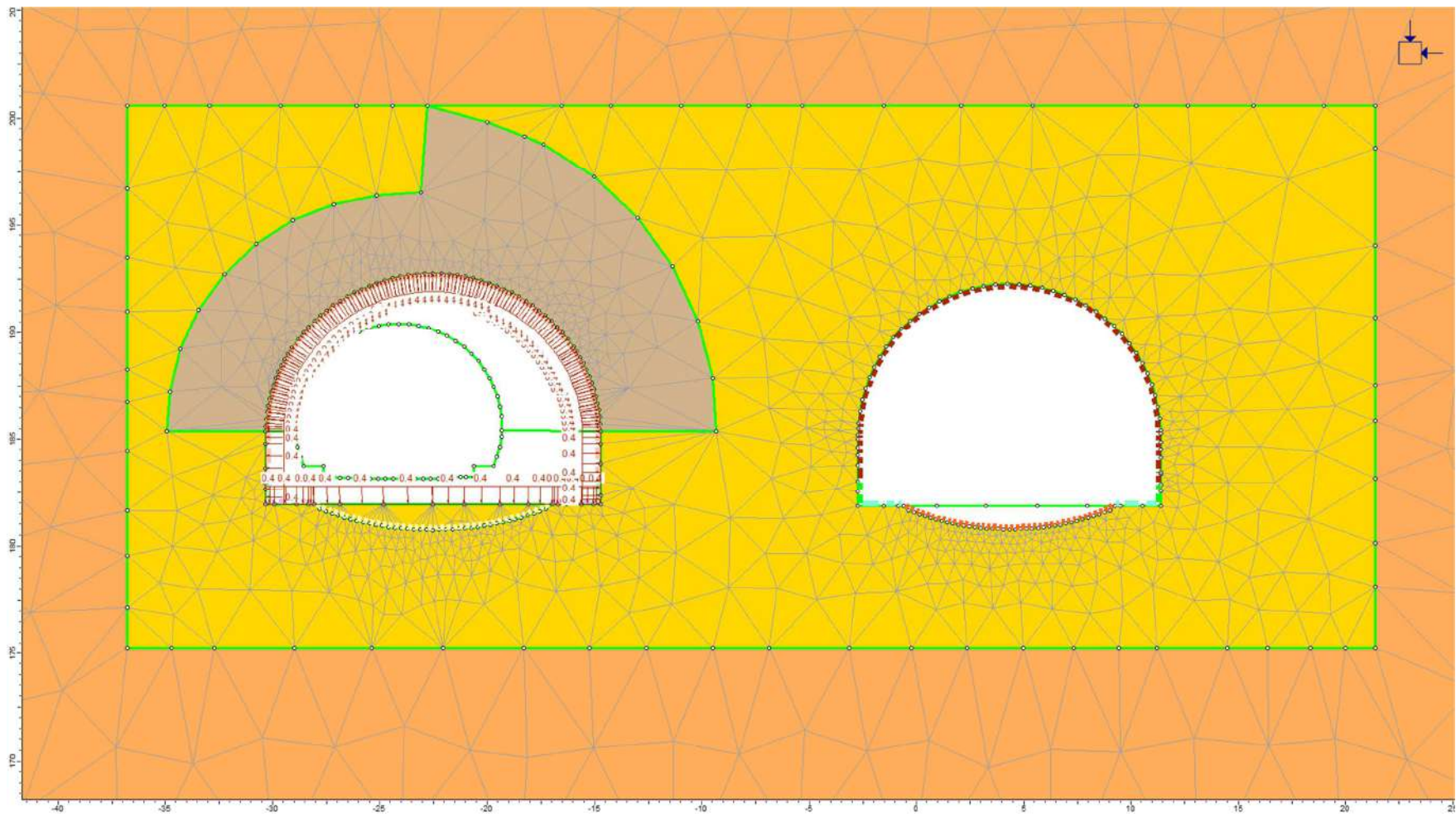


Figura: Fase 9_Modello.

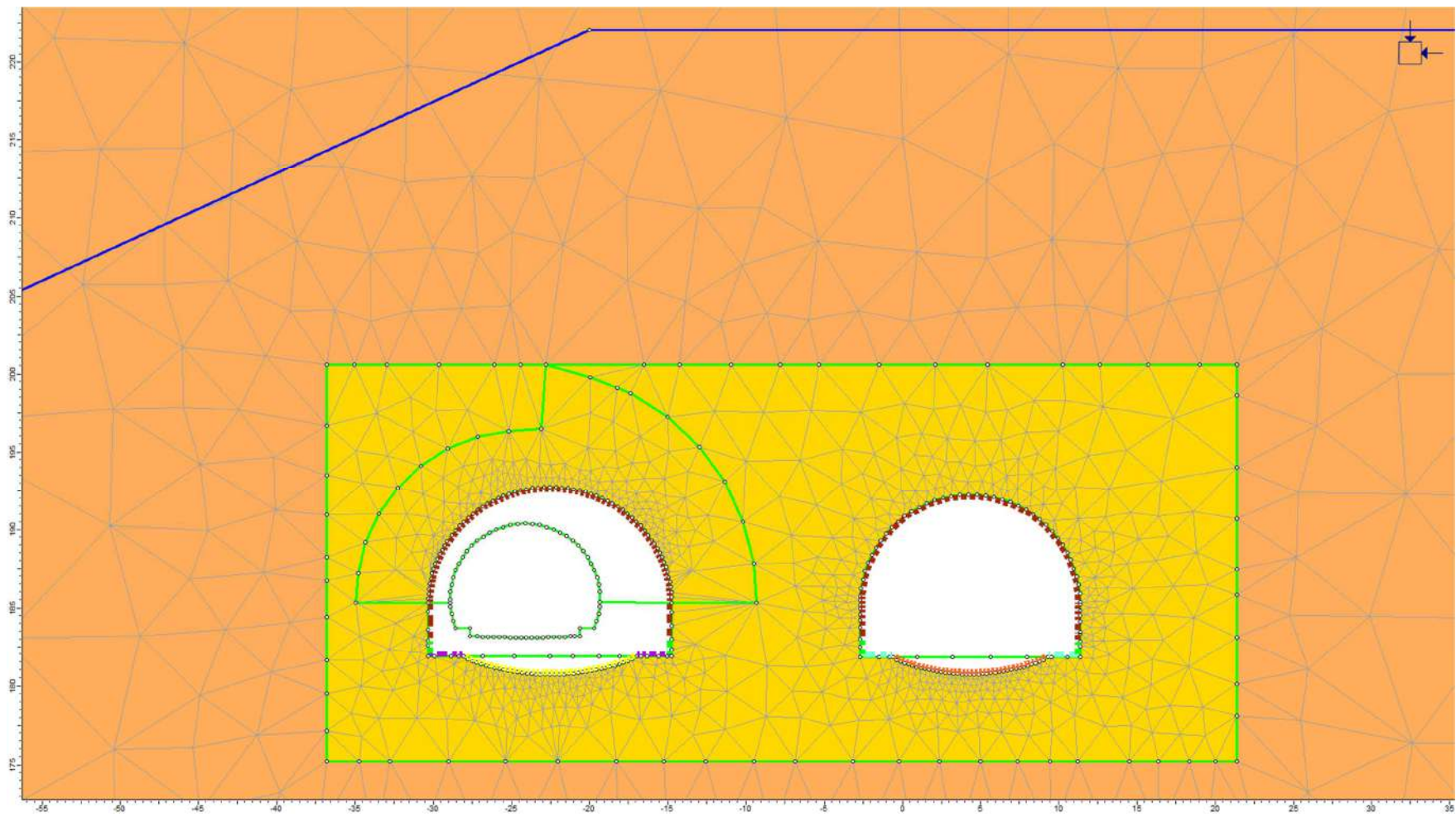


Figura: Fase 16_Modello.

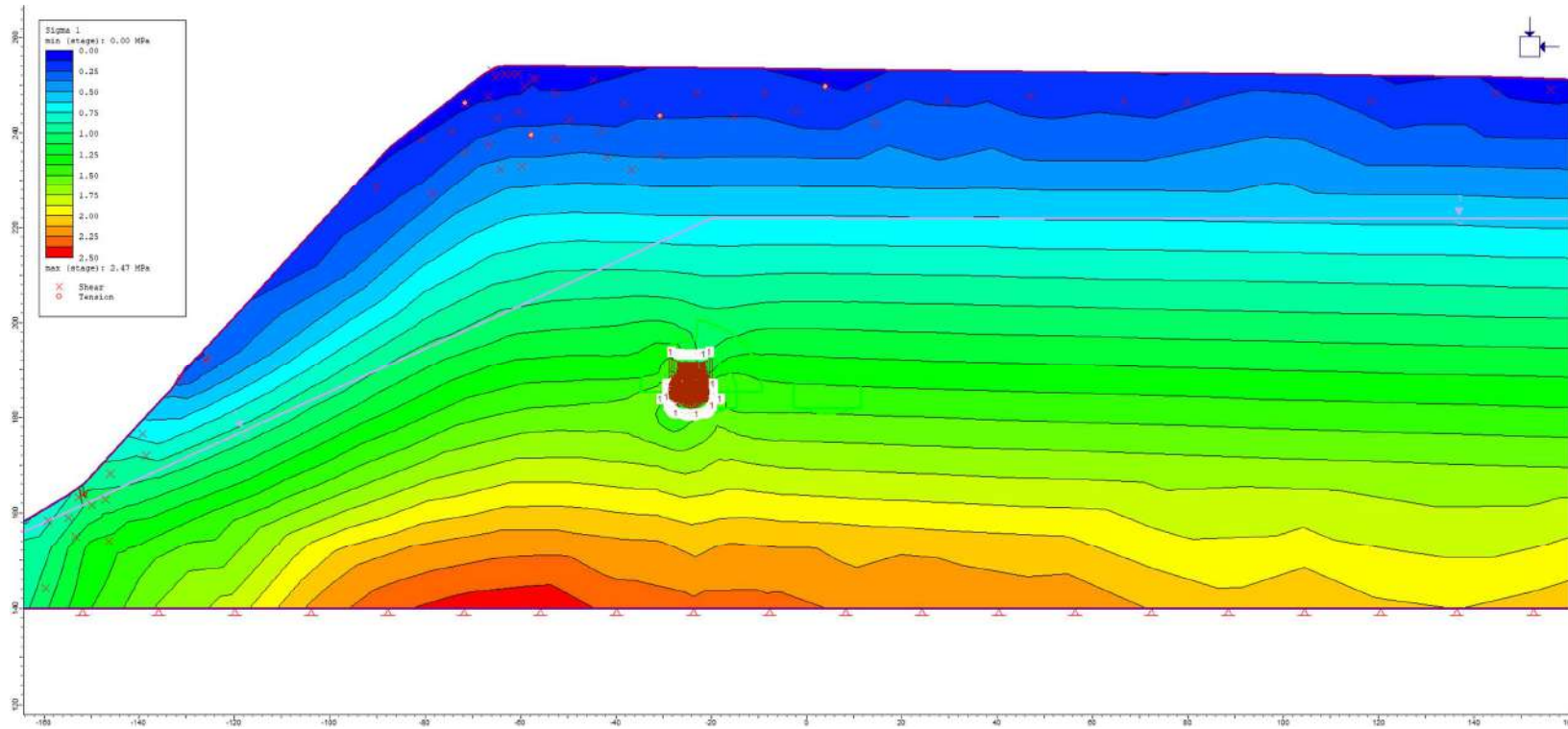


Figura: Fase 1_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

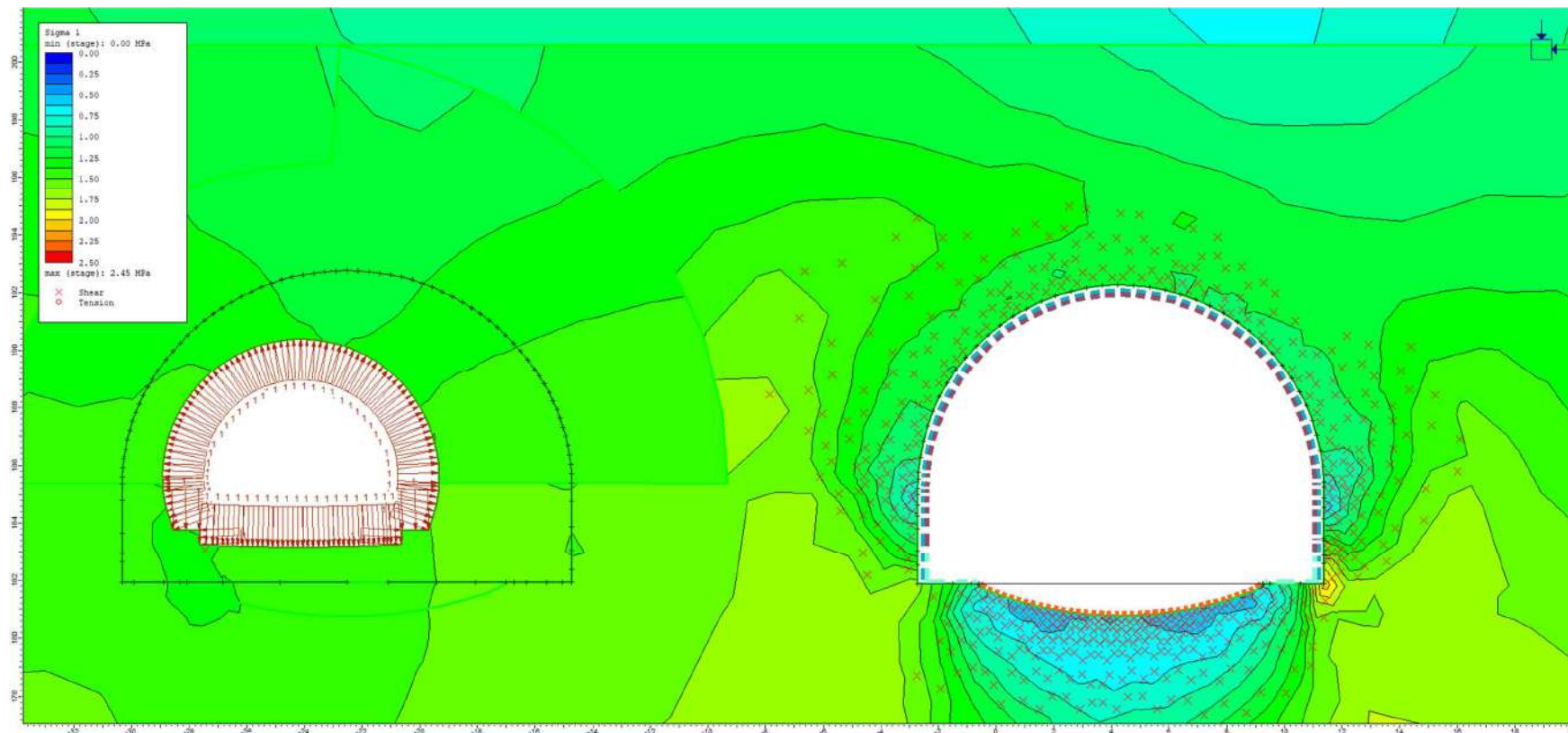


Figura: Fase 8_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

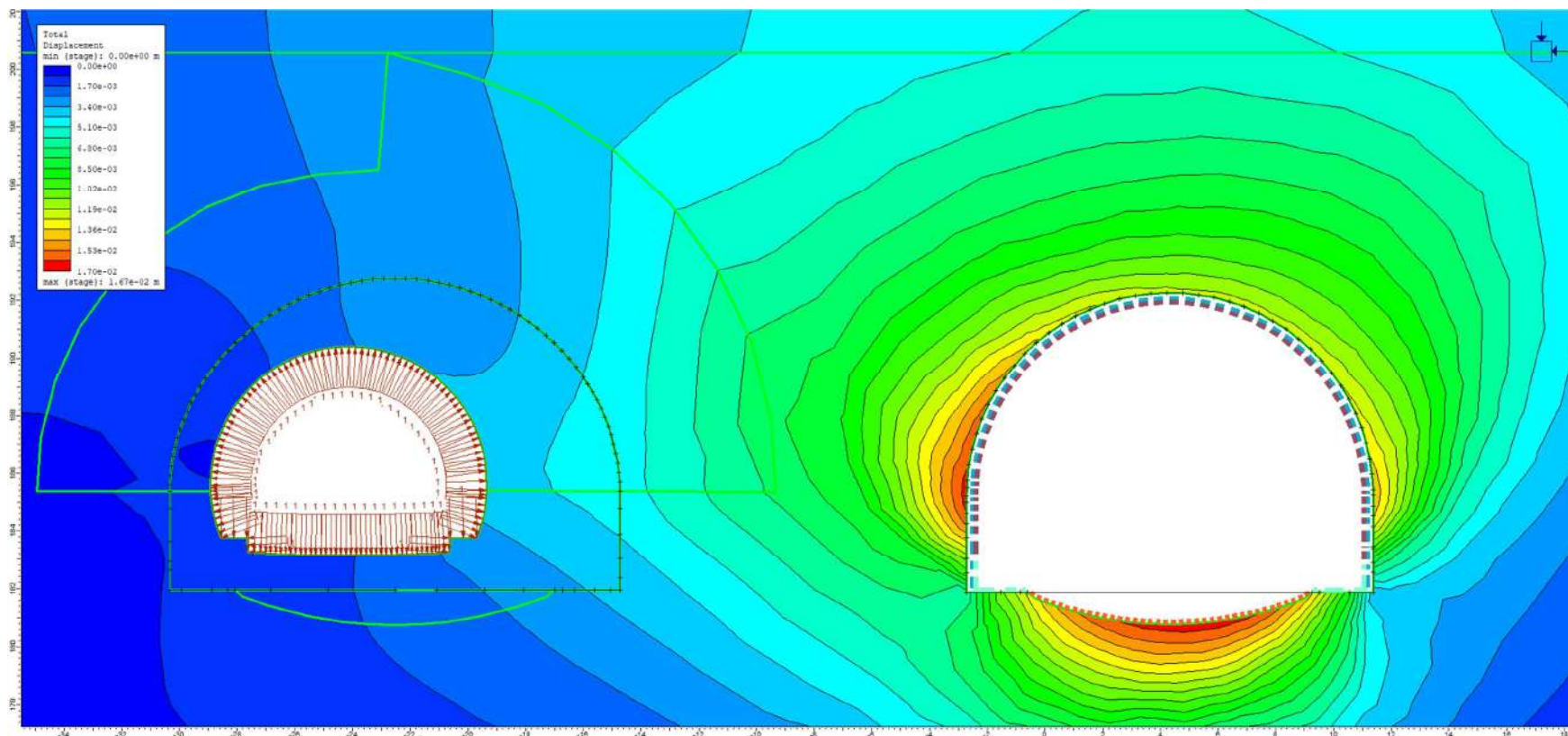


Figura: Fase 8_Risultati – Spostamenti totali.

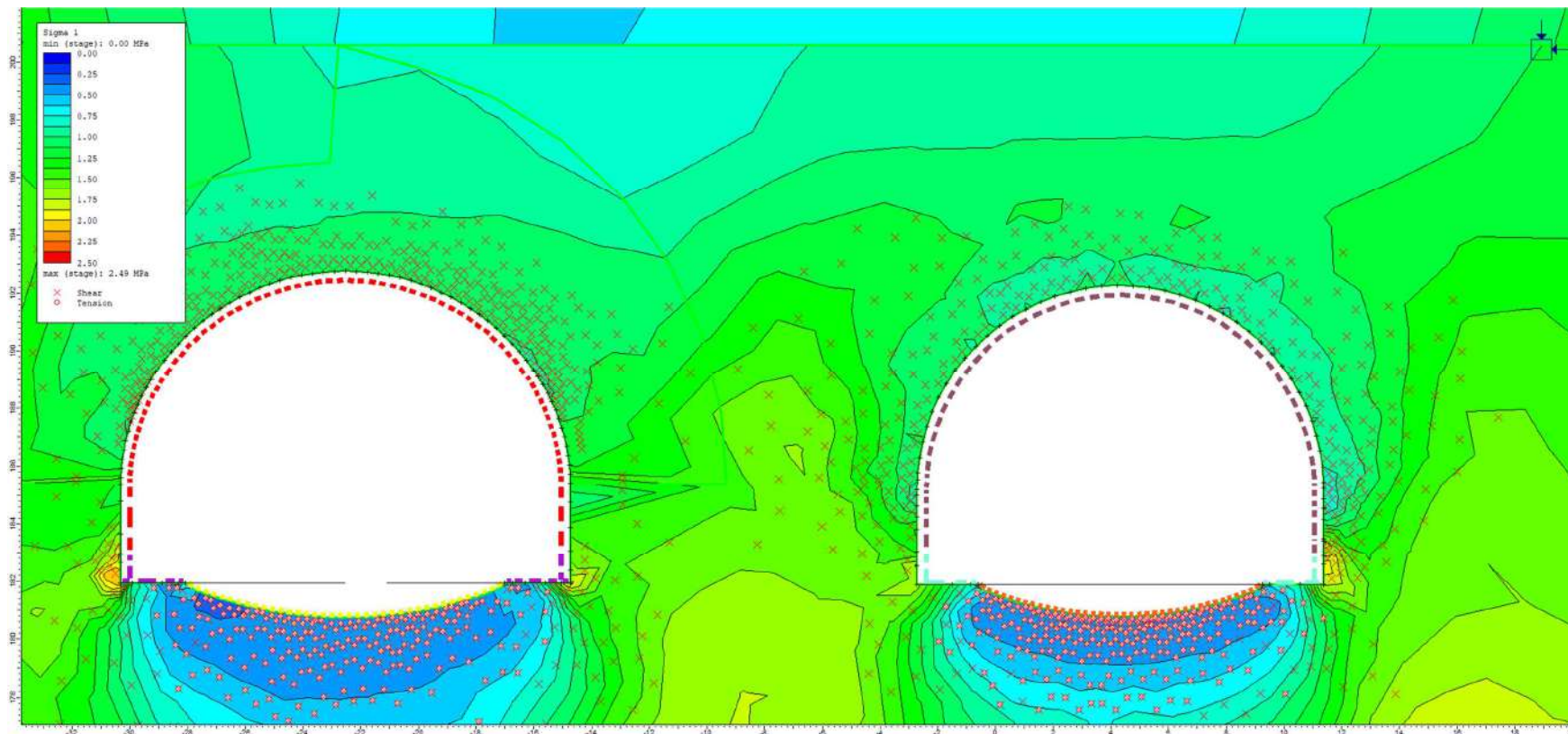


Figura: Fase 16_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

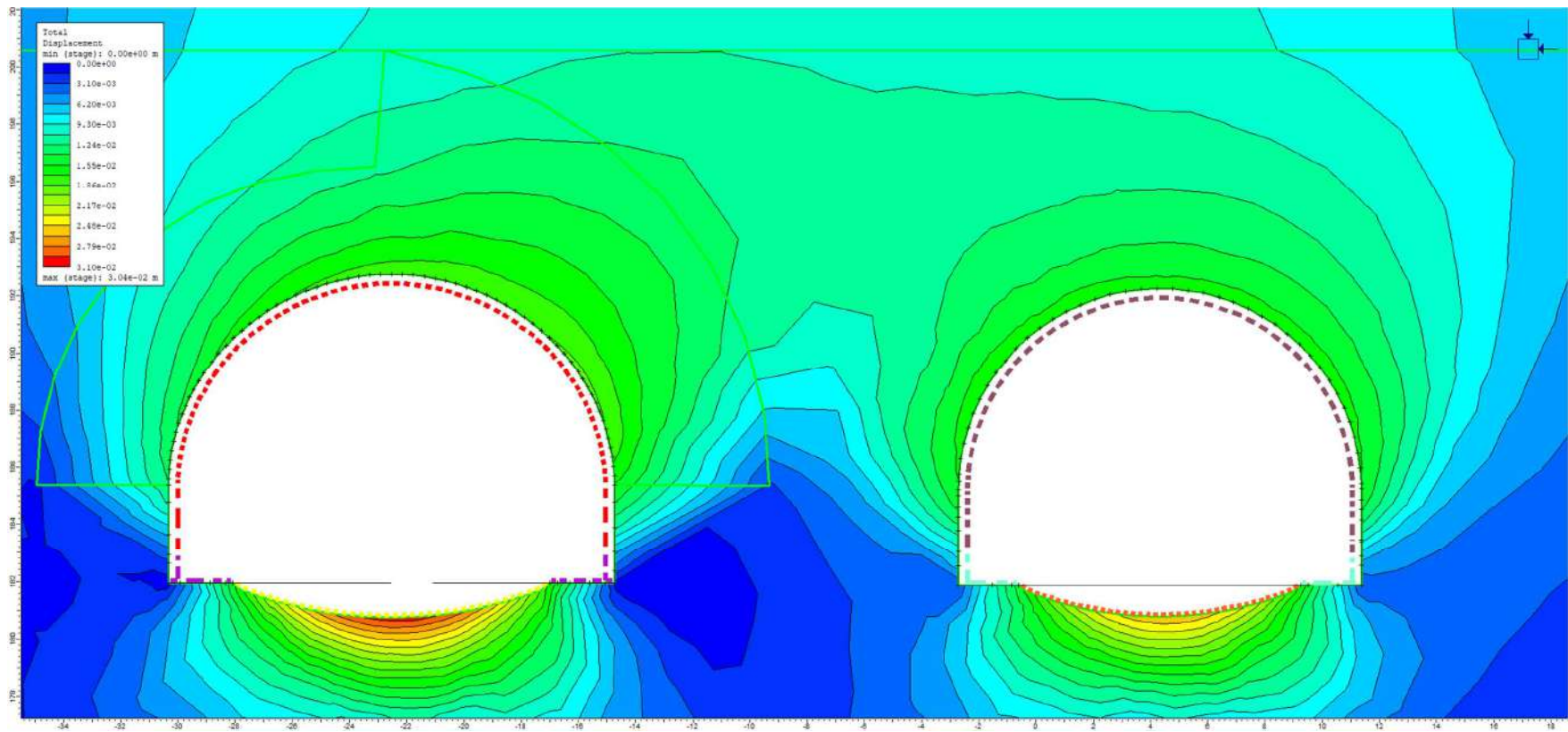


Figura: Fase 16_Risultati – Spostamenti totali.

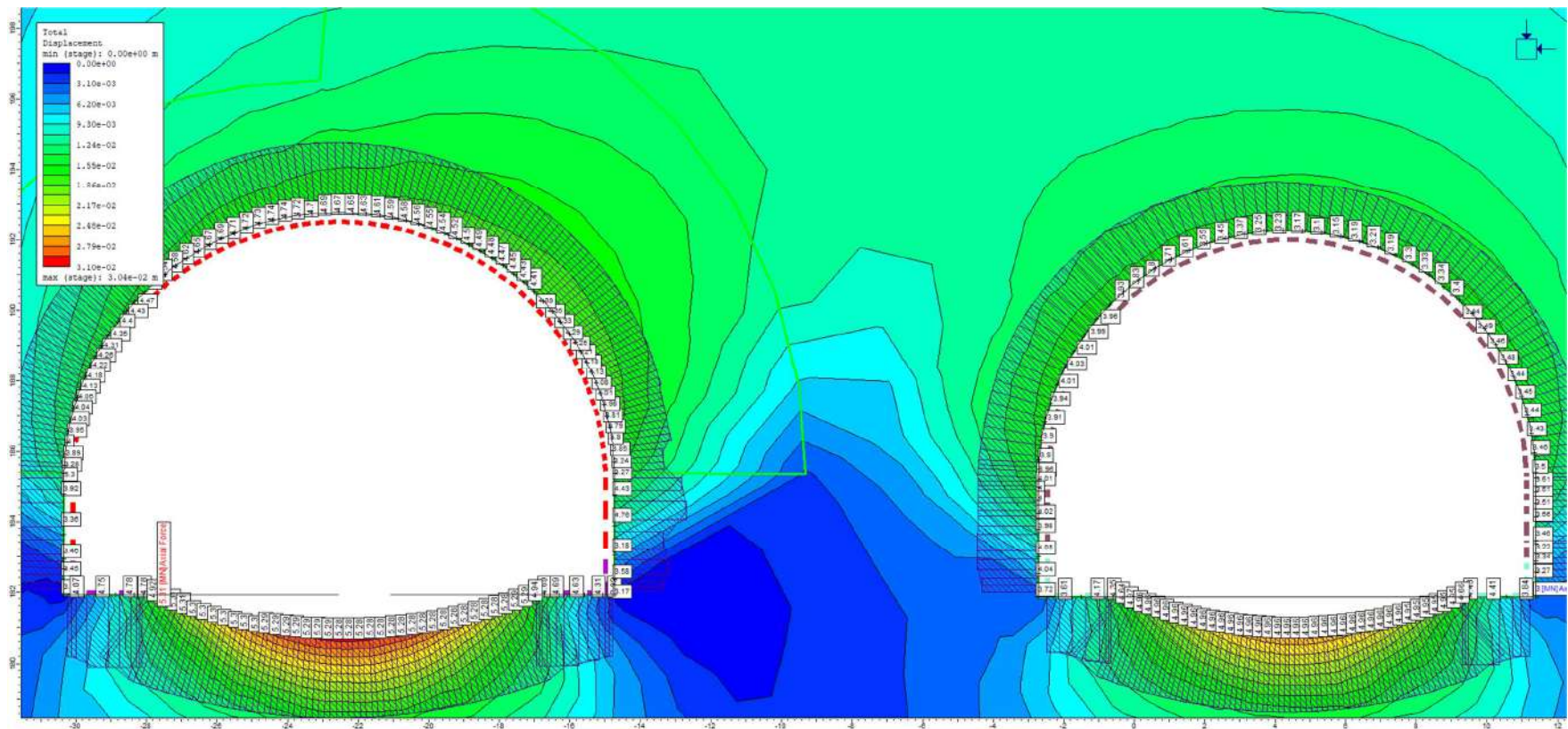


Figura: Fase 16_Risultati – Sforzi normali su rivestimento definitivo.

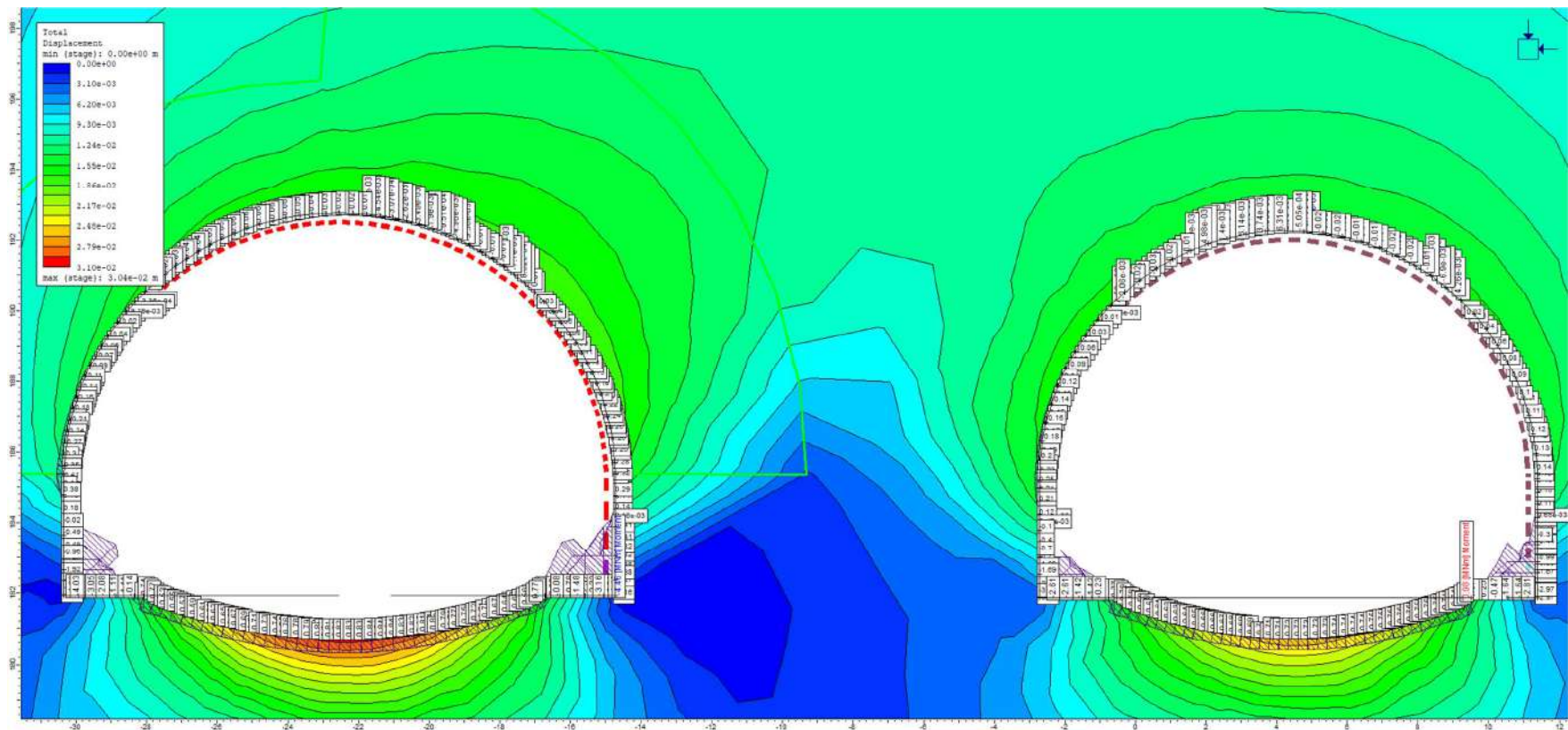


Figura: Fase 16_Risultati – Momenti su rivestimento definitivo.

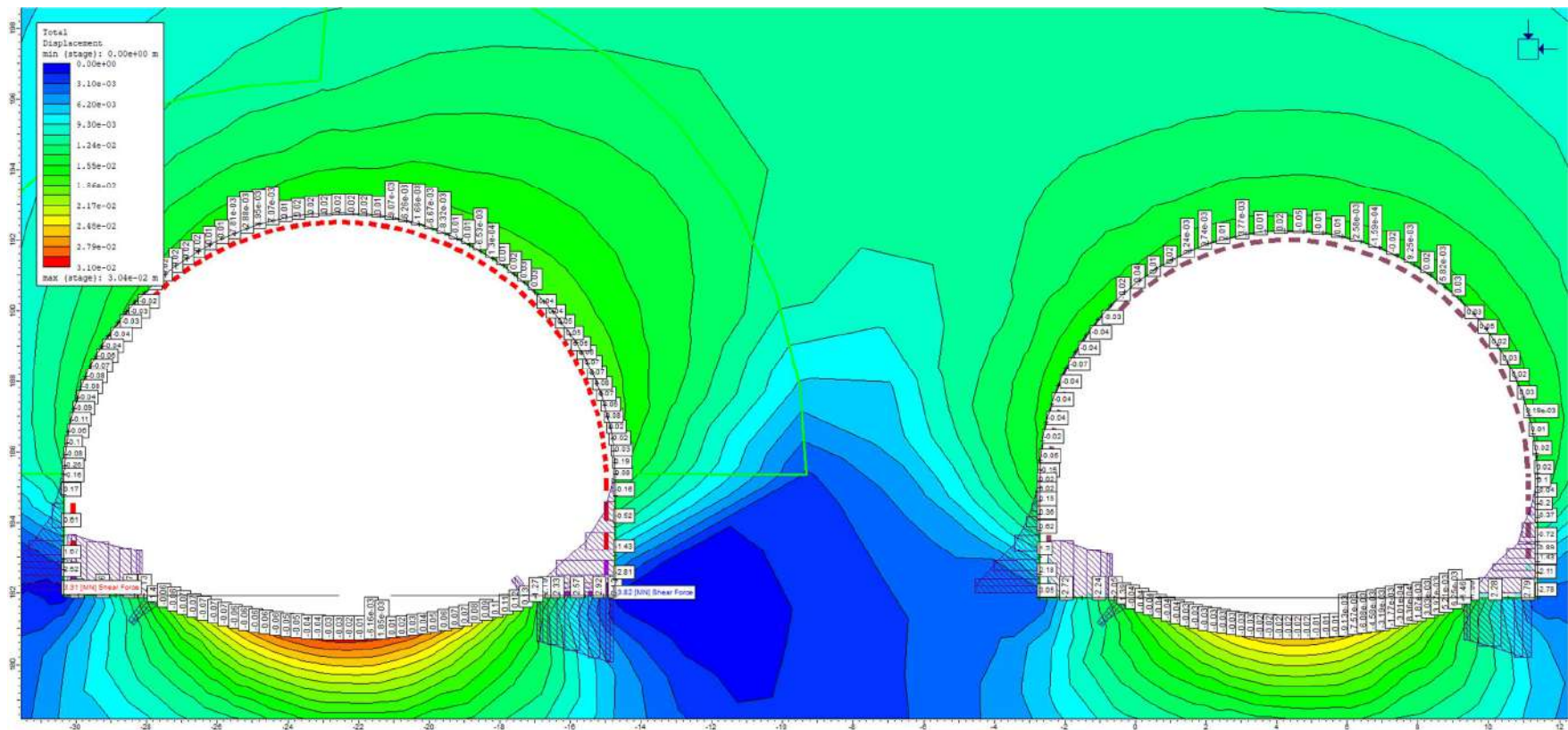

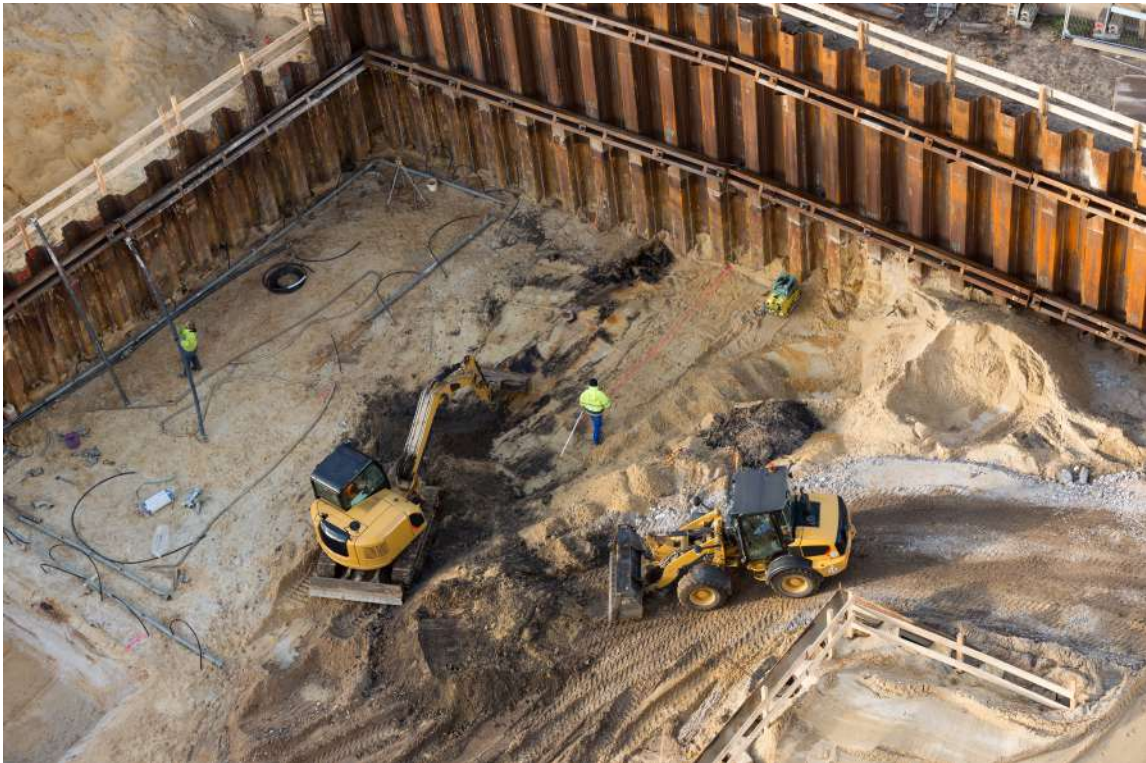


Figura: Fase 16_Risultati – Sforzi di taglio su rivestimento definitivo.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione di calcolo</i>	

14.5 Output software sezione di calcolo 4+131_valor minimi



Chighizzu_min_4+131_Plastic.fez
Project1
Date Created: 02/12/2020, 12:55:30
Software Version: 11.011

Table of Contents

Analysis Options	3
Field Stress	3
Mesh Quality	3
Poor quality elements defined as:	3
Material Properties	4
Marne_min	4
Properties changed in Stato di fatto	4
Marne_min_consolidate	4
Properties changed in Stato di fatto	4
Marne_medi	5
Properties changed in Stato di fatto	5
Calcari	5
Properties changed in Stato di fatto	5
Liner Properties	6
Liner: Prima fase dx	6
Properties changed in dX_Prima fase_0.65	6
Properties changed in dX_Maturazione spritz_0.7	6
Liner: Arco rovescio dx	6
Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx_0.9	6
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	7
Liner: Murette dx	7
Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx_0.9	7
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	7
Liner: Calotta dx	7
Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98	8
Properties changed in dX_Maturazione calotta_1	8
Liner: Prima fase sx	8
Properties changed in sX_Prima fase_0.65	8
Properties changed in sX_Maturazione spritz_0.7	9
Liner: Arco rovescio sx	9
Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9	9
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	9
Liner: Murette sx	9
Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9	9
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	10
Liner: Calotta sx	10
Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98	10
Properties changed in sX_Maturazione calotta_1	10
Composite Liner Properties	10

Chighizzu_min_4+131_Plastic.fez

RS2 Analysis Information

Analysis Options

Maximum Number of Iterations:	500
Tolerance:	0.001
Number of Load Steps:	Automatic
Convergence Type:	Absolute Energy
Tensile Failure:	Reduces Shear Strength
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01	

Field Stress

Field stress:	Gravity
Using actual ground surface	
Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane):	0.5
Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane):	0.5
Locked-in horizontal stress (in-plane):	0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane):	0

Mesh Quality

2 of 4680 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements
 2 of 4680 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
 2 of 4680 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
 0 of 4680 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
 0 of 4680 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted

Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00

Minimum interior angle < 2.0 degrees


Maximum interior angle > 175.0 degrees

Reset Displacements

Displacements reset after:	Stato di fatto
----------------------------	----------------


Material Properties

Marne_min

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	750 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	1 MPa
mb Parameter	0.982
s Parameter	0.00222
a Parameter	0.508
Residual mb Parameter	0.982
Residual s Parameter	0.00222
Residual a Parameter	0.508
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Dry


Properties changed in Stato di fatto

Marne_min_consolidate


Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	1250 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	1 MPa
mb Parameter	0.982
s Parameter	0.00222
a Parameter	0.508
Residual mb Parameter	0.982
Residual s Parameter	0.00222
Residual a Parameter	0.508
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Dry

Properties changed in Stato di fatto

Marne_medi

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	2922 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	4.8 MPa
mb Parameter	1.403
s Parameter	0.00674
a Parameter	0.504
Residual mb Parameter	1.403
Residual s Parameter	0.00674
Residual a Parameter	0.504
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Dry


Properties changed in Stato di fatto**Calcari**

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	0.02 MN/m ³
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	3500 MPa
Use Residual Young's Modulus	No
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material Type	Plastic
Compressive Strength	12 MPa
mb Parameter	1.341
s Parameter	0.0039
a Parameter	0.506
Residual mb Parameter	1.341
Residual s Parameter	0.0039
Residual a Parameter	0.506
Dilation Parameter	0
Tensile Cutoff Type	0
Material Behaviour	Drained
Porosity Value	0.5
Static Water Mode	Dry

Properties changed in Stato di fatto

Liner Properties

Liner: Prima fase dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	24914.9 MPa
Equivalent thickness	0.249872 m
Poisson ratio	0
Reinforcement Properties	
Spacing	0.6 m
Section Depth	0.18 m
Area	0.00279 m ²
Moment of inertia	1.444e-05 m ⁴
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	261.9 MPa
Tensile strength	261.9 MPa
Concrete Properties	
Thickness	0.25 m
Young's modulus	20000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	15.87 MPa
Tensile strength	0.01 MPa

Properties changed in dX Prima fase 0.65

Young's modulus: 10000 MPa (factor = 0.5)


Compressive strength: 6.99867 MPa (factor = 0.441)

Properties changed in dX Maturazione spritz 0.7

Young's modulus: 20000 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 15.87 MPa (factor = 1)

Liner: Arco rovescio dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.7 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.7 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX Arco rovescio e murette sx 0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Murette dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	1.5 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	1.5 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX_Arco rovescio e murette sx_0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX_maturazione+Calotta_0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Calotta dx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	1.3 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	1.3 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in dX maturazione+Calotta 0.98

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in dX Maturazione calotta 1

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Prima fase sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	24914.9 MPa
Equivalent thickness	0.249872 m
Poisson ratio	0
Reinforcement Properties	
Spacing	0.6 m
Section Depth	0.18 m
Area	0.00279 m ²
Moment of inertia	1.444e-05 m ⁴
Young's modulus	210000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	261.9 MPa
Tensile strength	261.9 MPa
Concrete Properties	
Thickness	0.25 m
Young's modulus	20000 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	15.87 MPa
Tensile strength	0.01 MPa

Properties changed in sX Prima fase 0.65

Young's modulus: 10000 MPa (factor = 0.5)


Compressive strength: 6.99867 MPa (factor = 0.441)

Properties changed in sX_Maturazione spritz_0.7

Young's modulus: 20000 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 15.87 MPa (factor = 1)

Liner: Arco rovescio sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	0.7 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	0.7 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Murette sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	1.6 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	1.6 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX_Arco rovescio e murette sx_0.9

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)


Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Liner: Calotta sx

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	34735.4 MPa
Equivalent thickness	1.4 m
Poisson ratio	0
Concrete Properties	
Thickness	1.4 m
Young's modulus	33346 MPa
Poisson ratio	0.2
Compressive strength	18.13 MPa
Tensile strength	1.41 MPa

Properties changed in sX_maturazione+Calotta_0.98

Young's modulus: 15005.7 MPa (factor = 0.45)

Compressive strength: 10.0078 MPa (factor = 0.552)

Tensile strength: 1.0011 MPa (factor = 0.71)

Properties changed in sX_Maturazione calotta_1

Young's modulus: 33346 MPa (factor = 1)

Compressive strength: 18.13 MPa (factor = 1)

Tensile strength: 1.41 MPa (factor = 1)

Composite Liner Properties

Composite name:
Layer 1: Prima fase dx
Layer 2: Calotta dx with 3 stage delay
Composite name:
Layer 1: Prima fase dx
Layer 2: Murette dx with 2 stage delay
Composite name:
Layer 1: Prima fase sx
Layer 2: Calotta sx with 3 stage delay
Composite name:
Layer 1: Prima fase sx
Layer 2: Murette sx with 2 stage delay

Composito_Calotta dx

Composito_Murette dx

Composito_Calotta sx

Composito_Murette sx

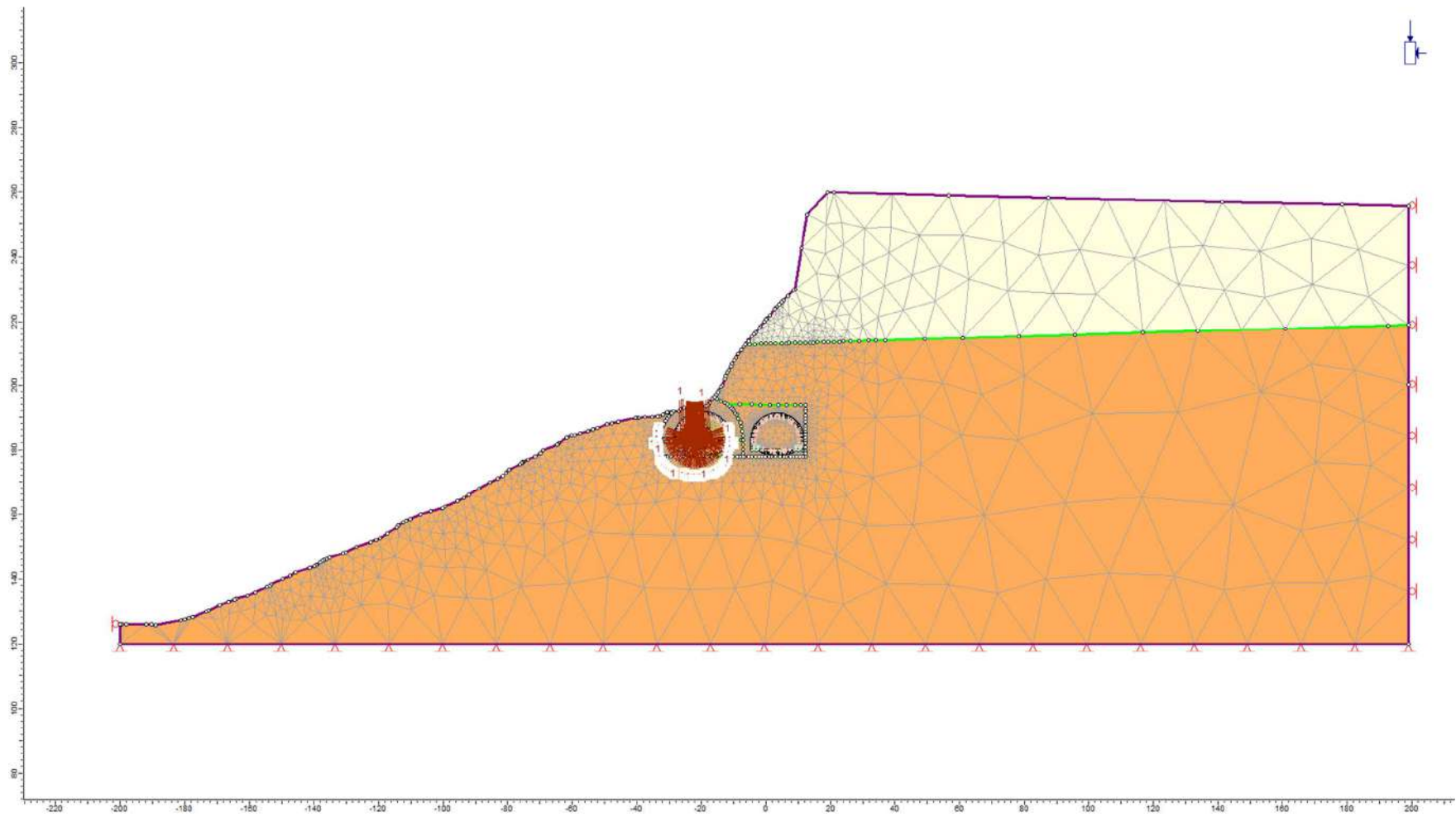


Figura: Fase 1_Modello.

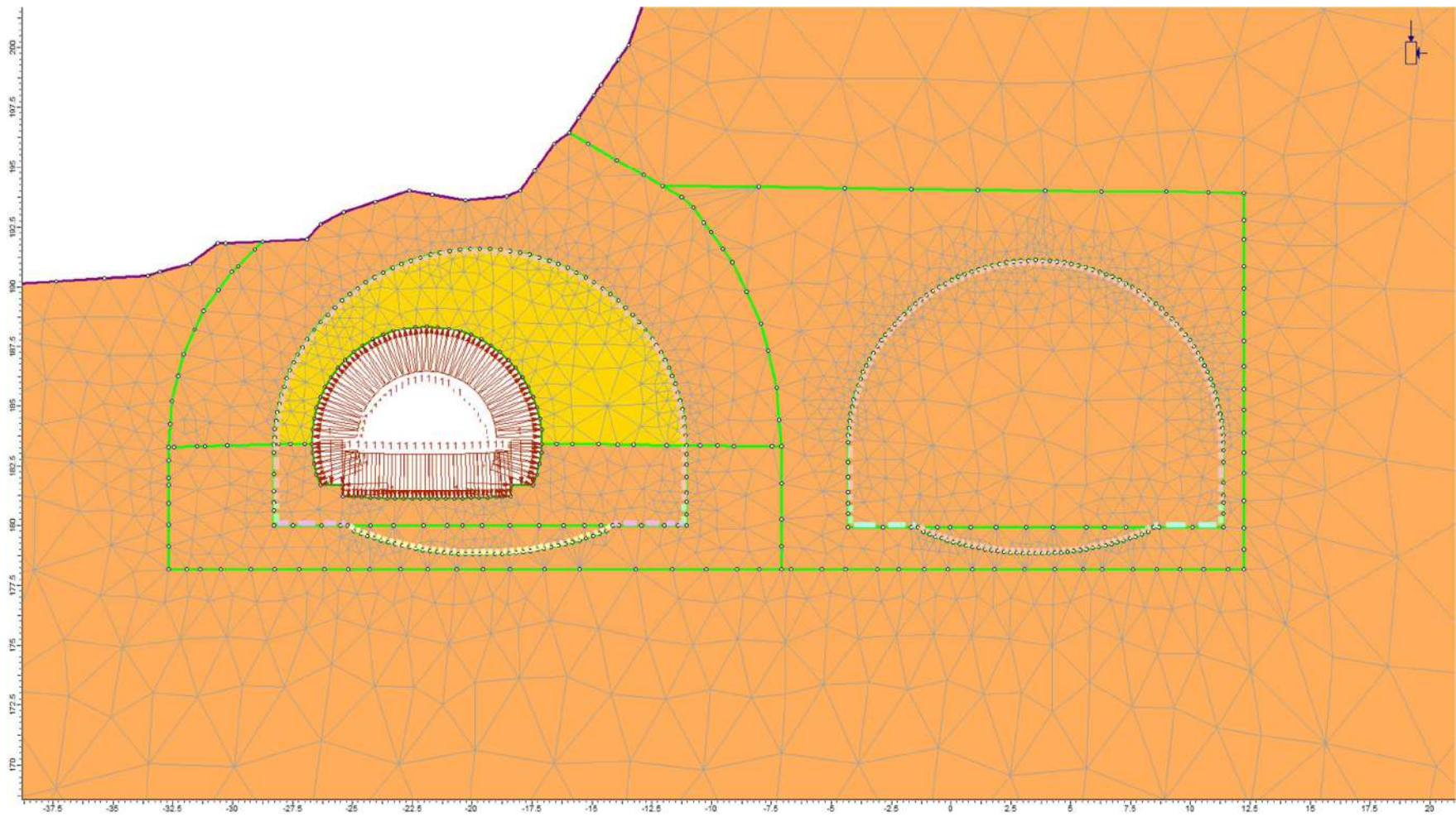


Figura: Fase 1_Modello zoom.

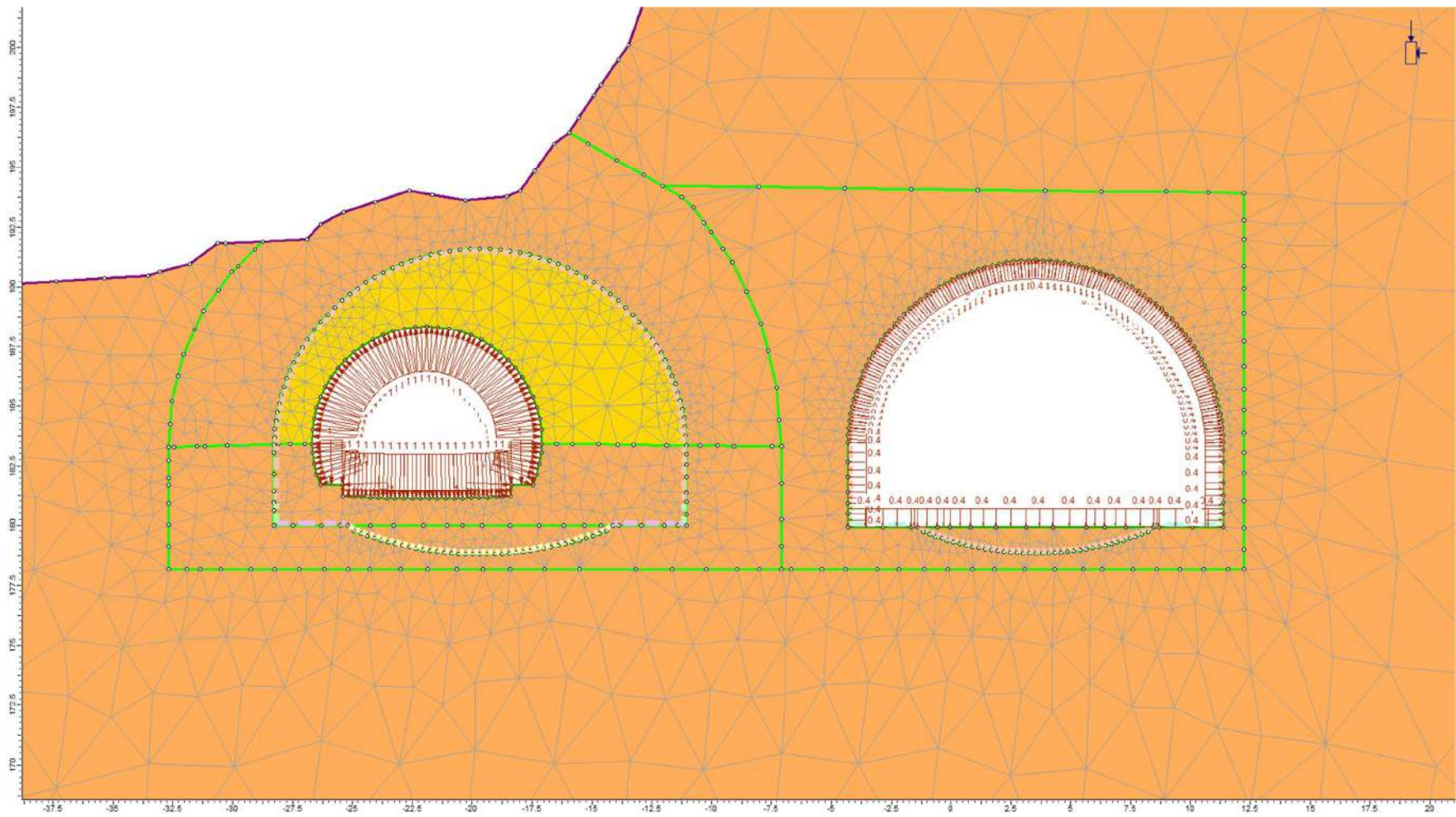


Figura: Fase 2_Modello.

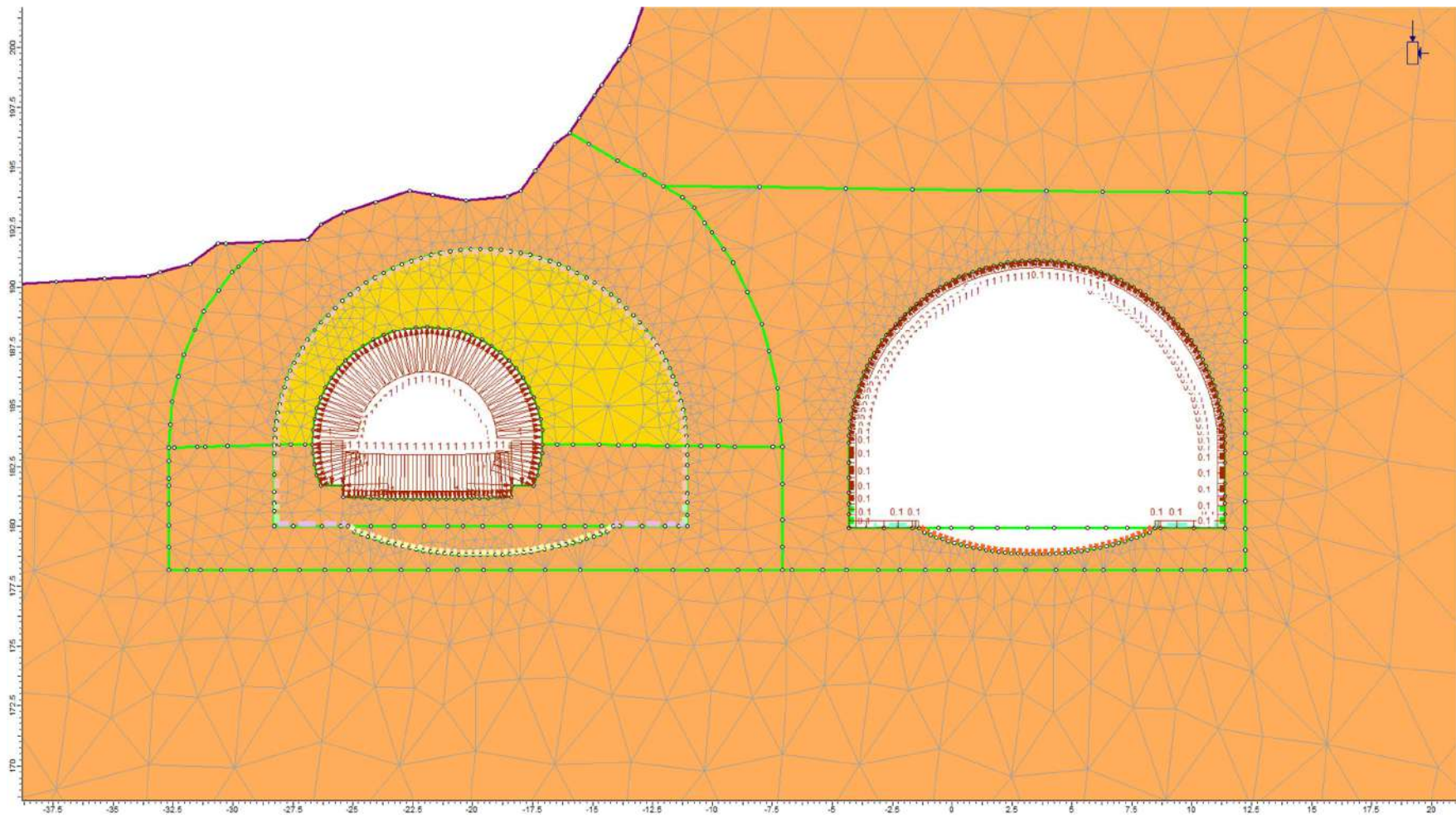


Figura: Fase 5_Modello.

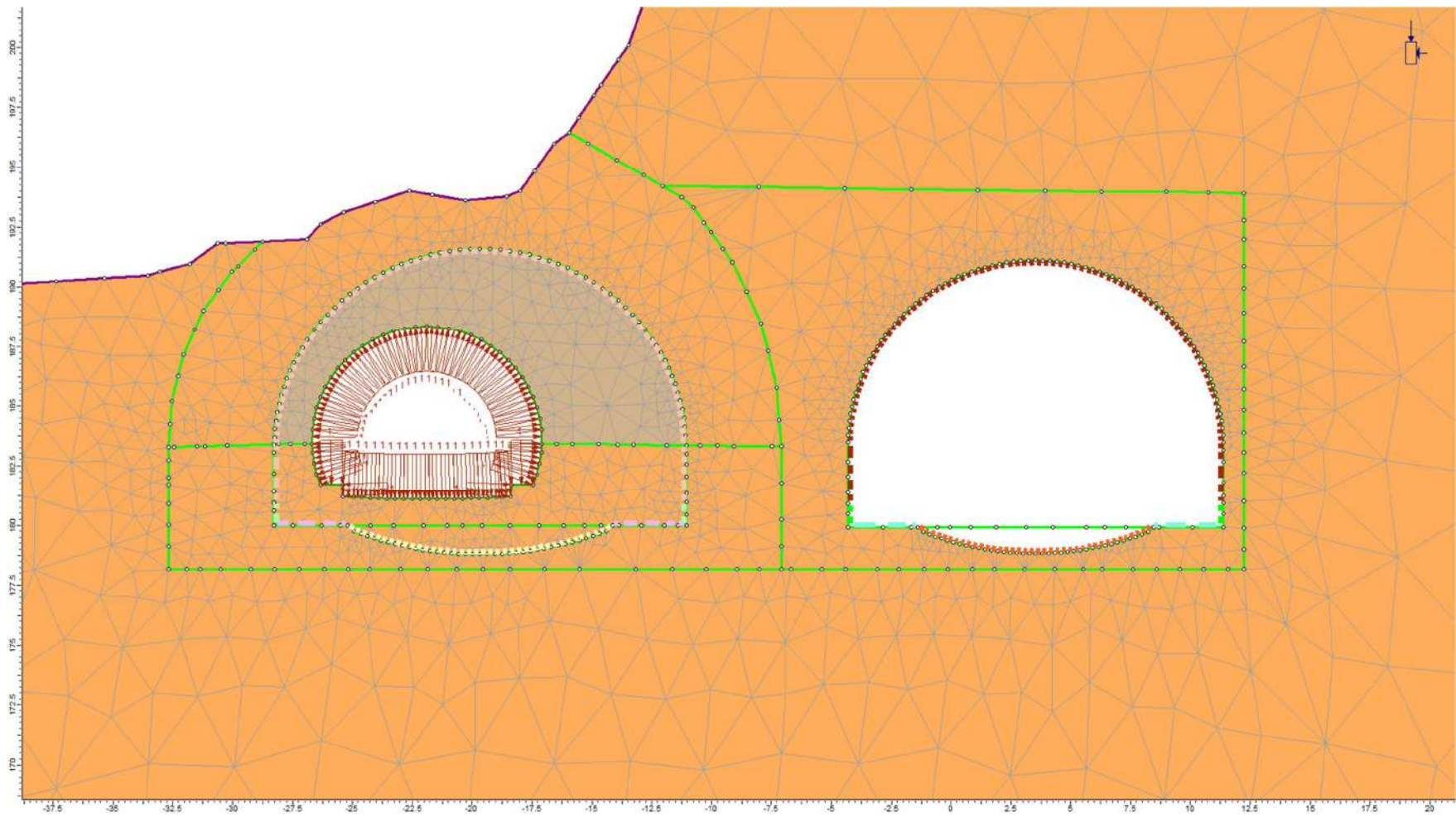


Figura: Fase 8_Modello.

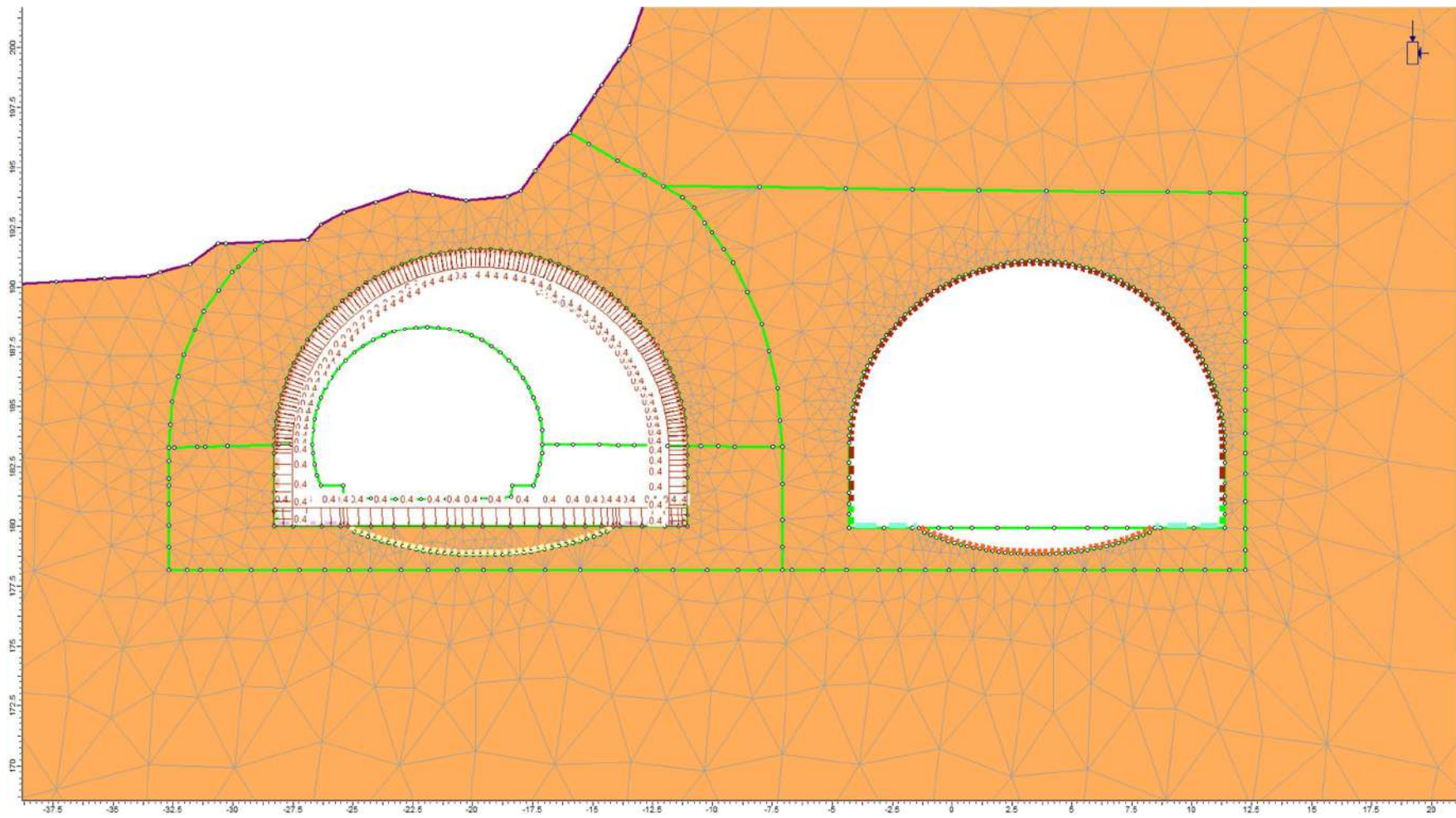


Figura: Fase 9_Modello.

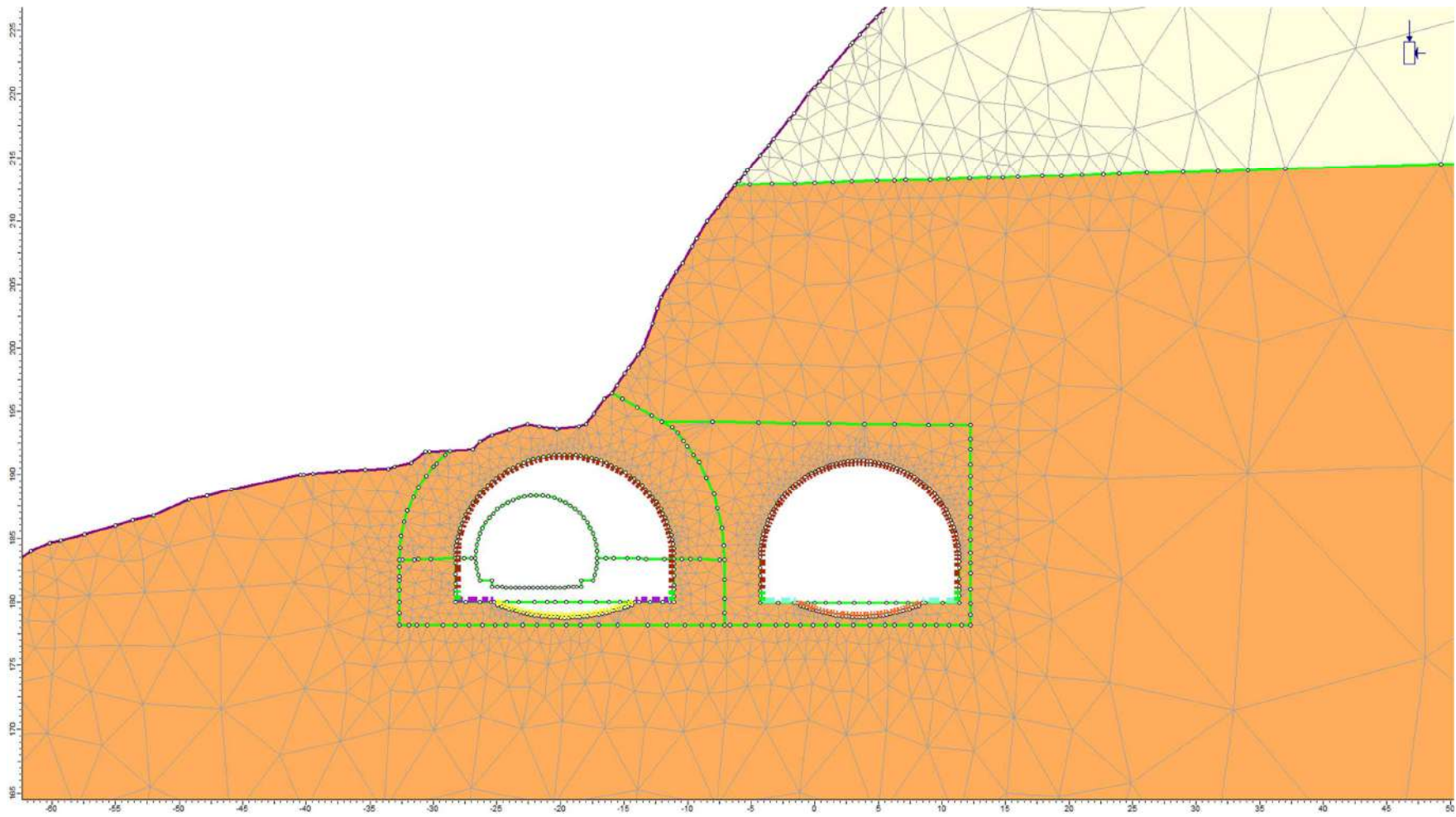


Figura: Fase 15_Modello.

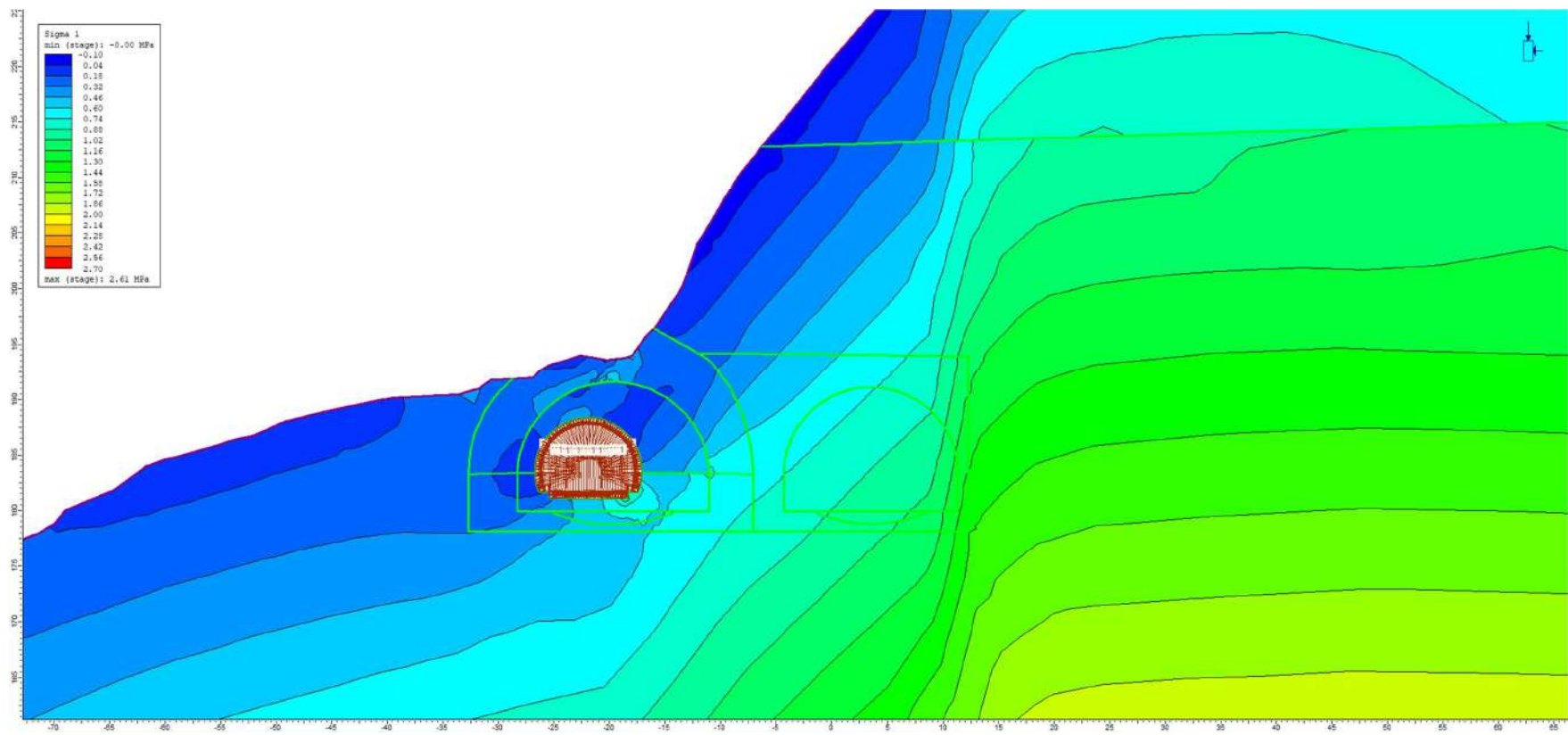


Figura: Fase 1_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

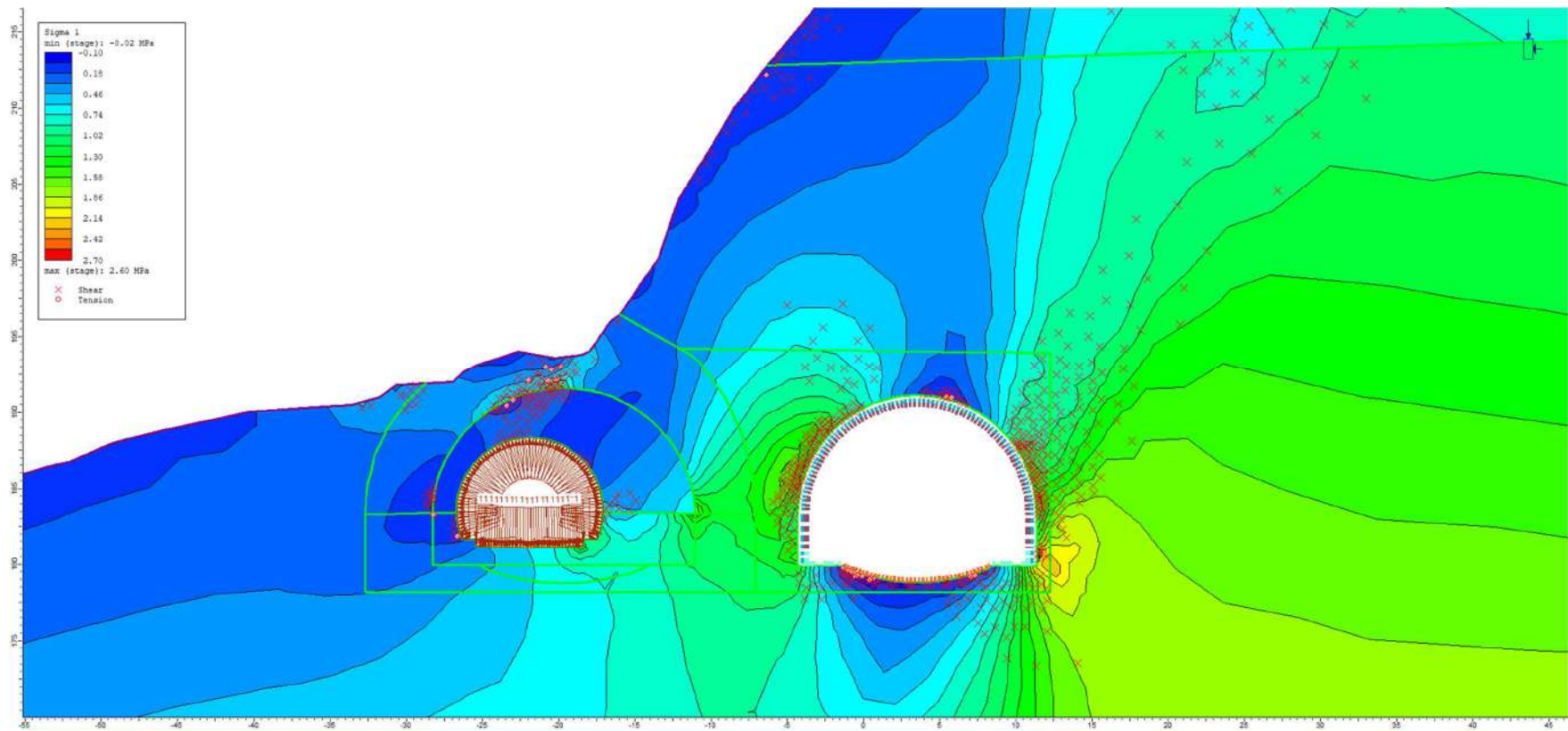


Figura: Fase 8_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

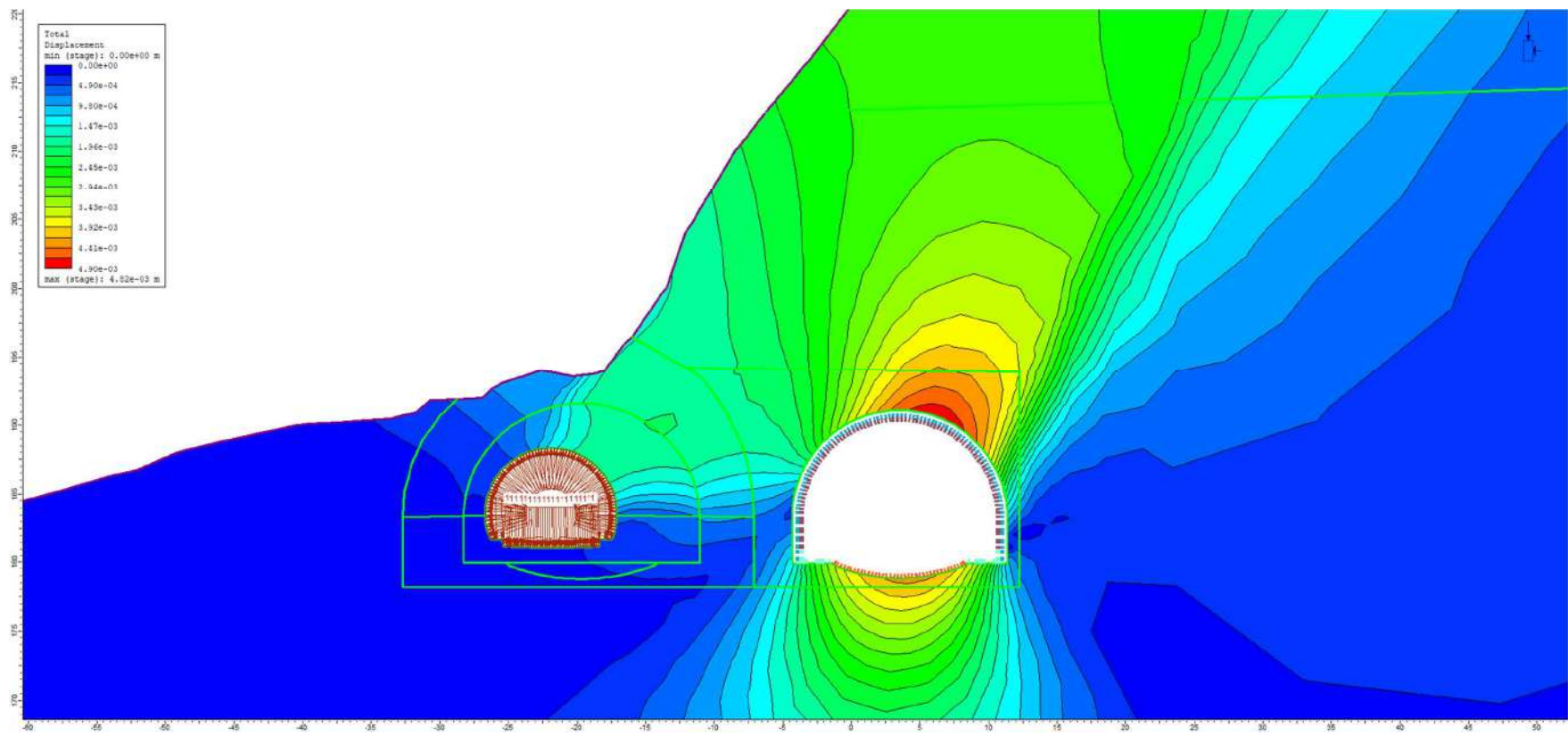


Figura: Fase 8_Risultati – Spostamenti totali.

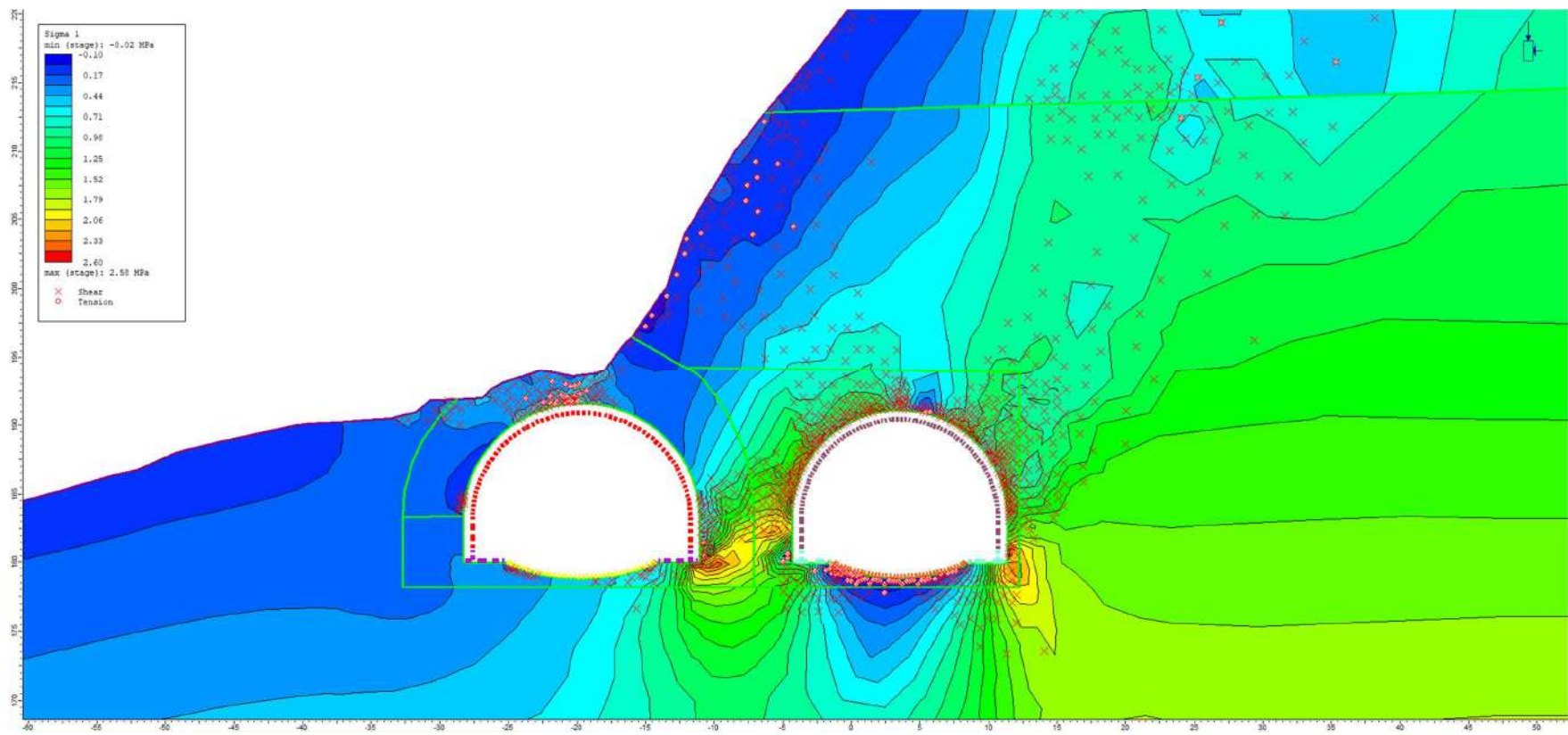


Figura: Fase 15_Risultati - Sigma 1 + elementi plasticizzati.

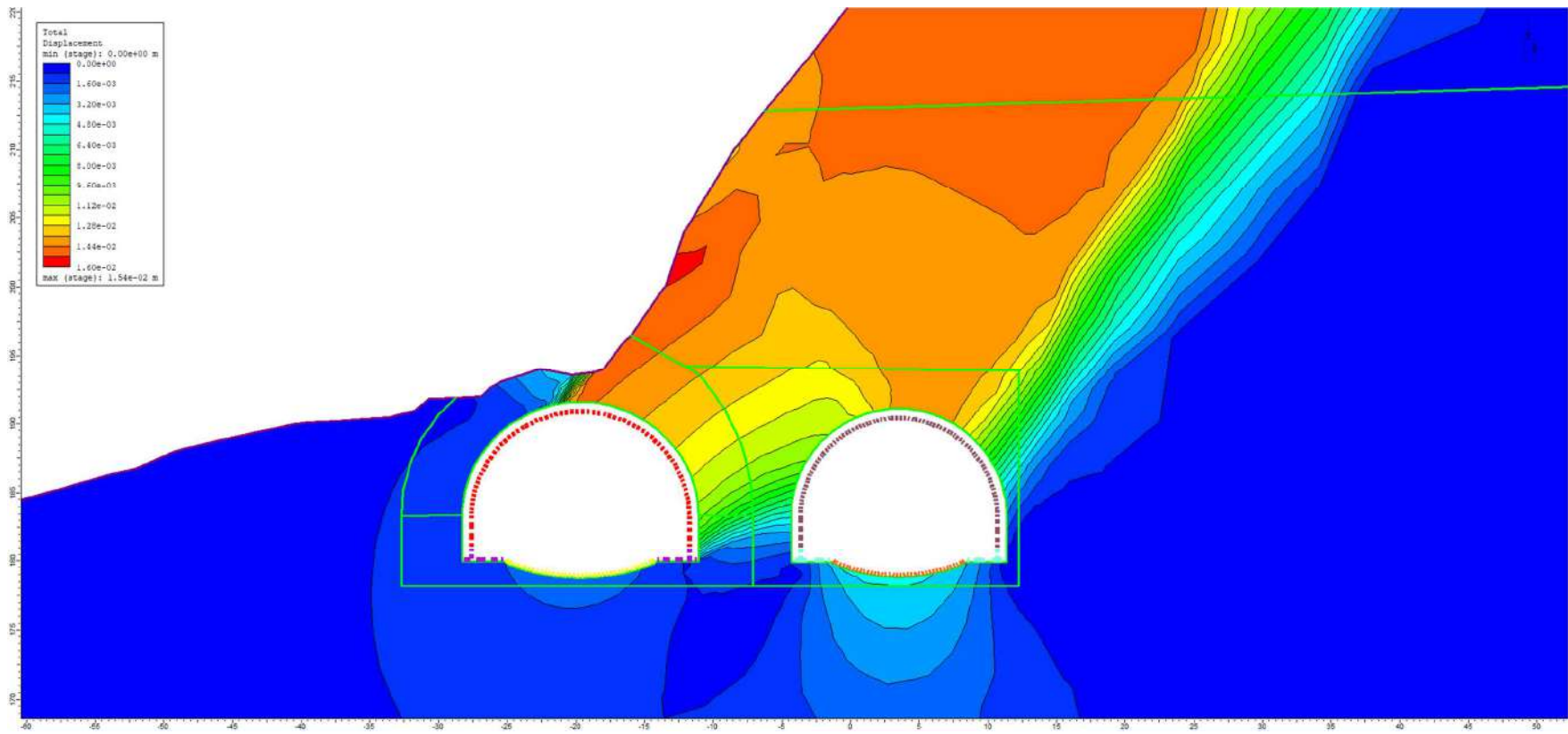


Figura: Fase 15_Risultati – Spostamenti totali.

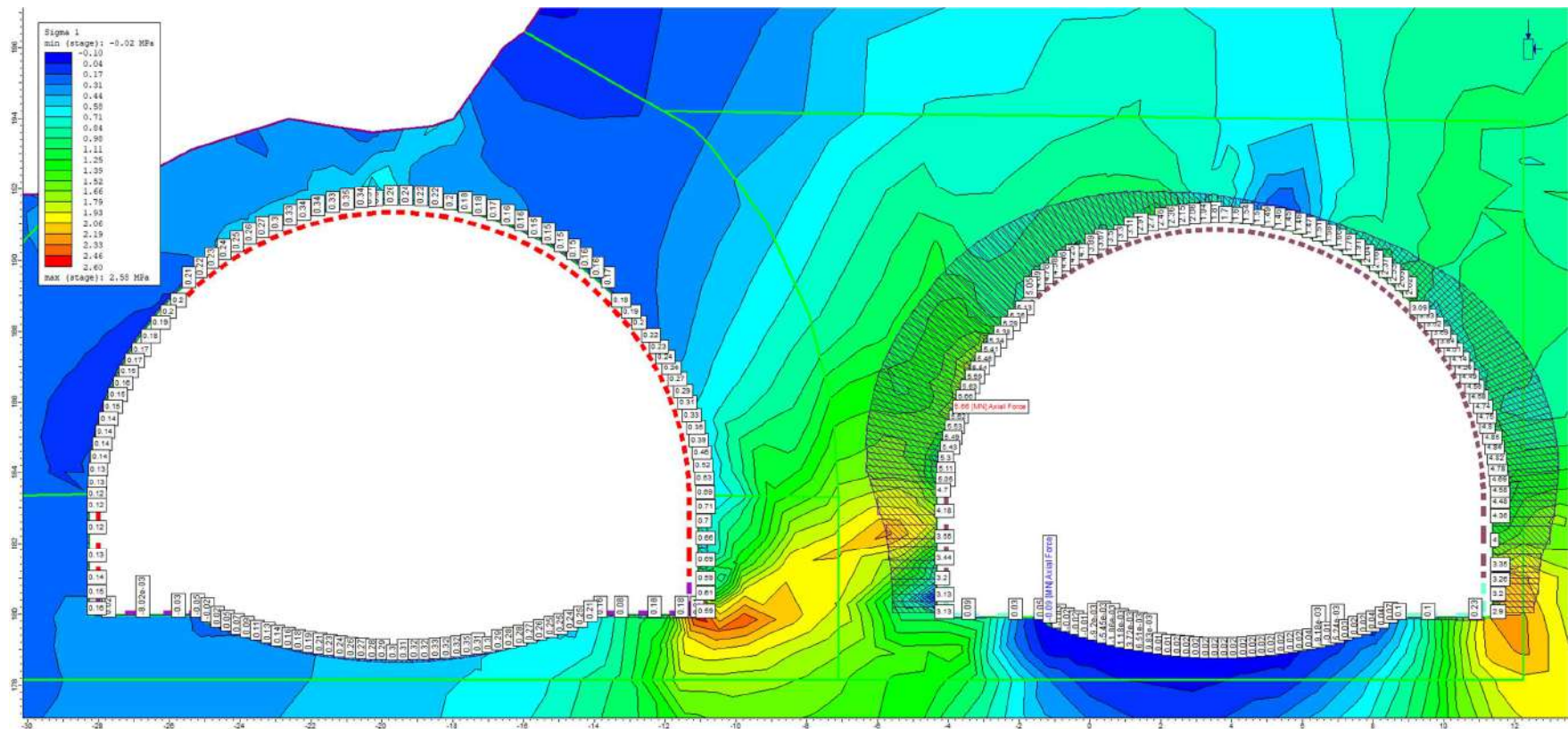


Figura: Fase 15_Risultati – Sforzi normali su rivestimento definitivo.

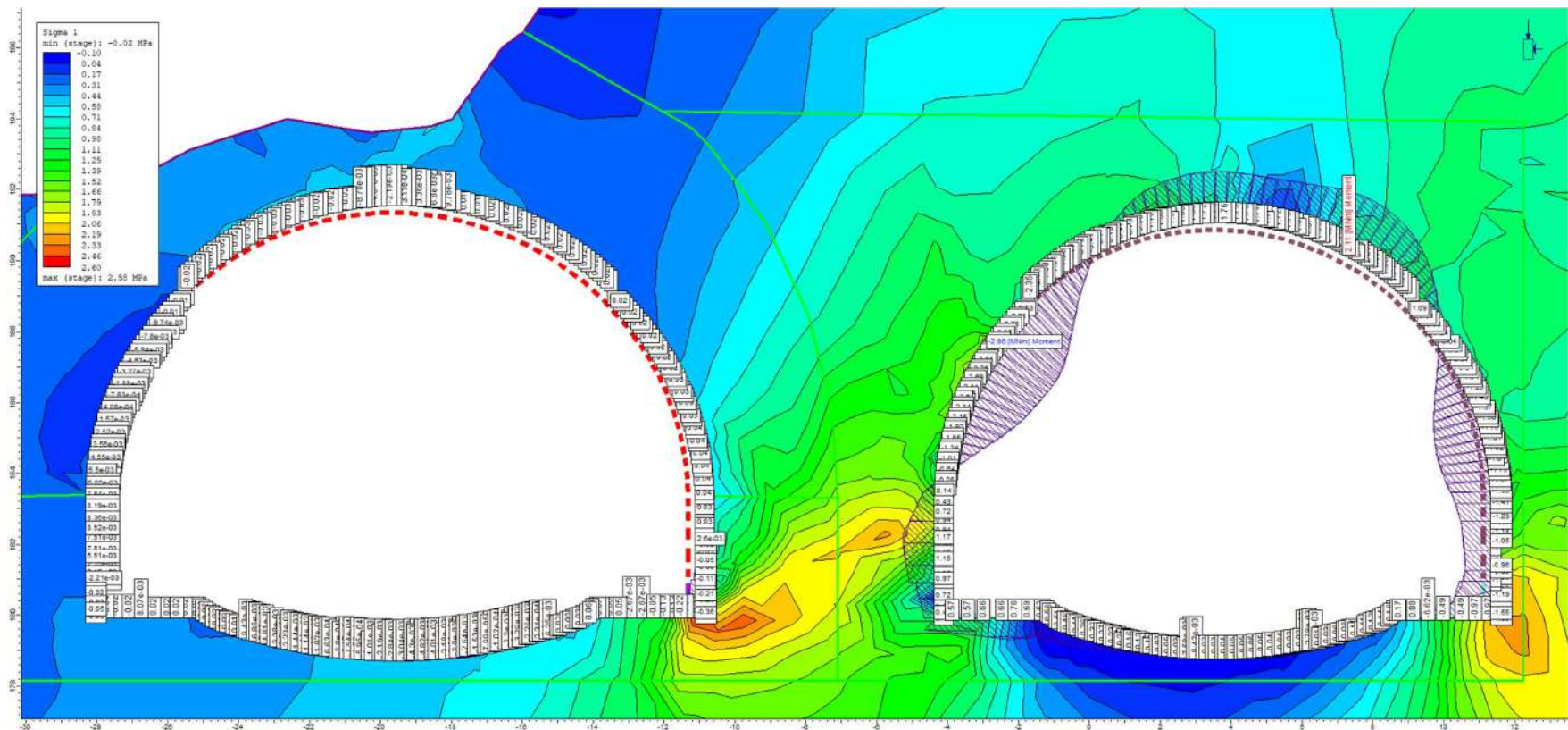


Figura: Fase 15_Risultati – Momenti su rivestimento definitivo.

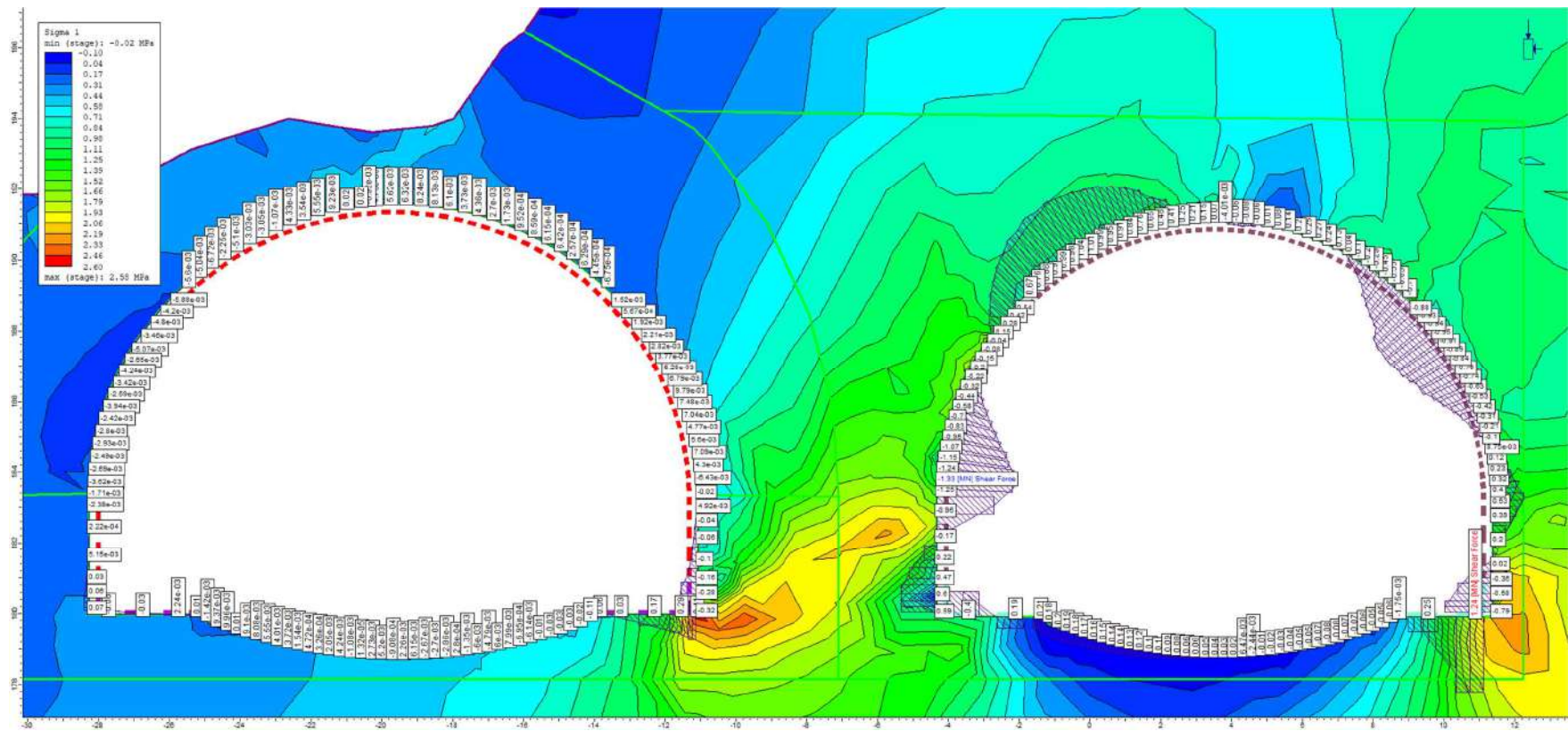


Figura: Fase 15_Risultati – Sforzi di taglio su rivestimento definitivo.