

S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

VARIANTE TECNICA N°4

ai sensi dell'art. 176, comma 5, secondo periodo lettera "a" e lettera "b", del D.Lgs. N. 163/2006 e Art. 11 del CSA-NG

CONTRAENTE GENERALE



DIRETTORE DEI LAVORI

Ing. CARLO DAMIANI

OPERE D'ARTE MAGGIORI

GALLERIE NATURALI

GALLERIA NATURALE CALTANISSETTA

By Pass Carrabili

Relazione di calcolo by-pass



Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

3596-13

Codice Elaborato:

PA12_09 - V 1 2 5 GN 2 0 4 GN 0 2 Z C L 4 8 7 C

Scala: ----

F																
E																
D																
C	Aprile 2021	AGGIORNAMENTO CARTIGLIO												A.ANTONELLI	A.FINAMORE	
B	Marzo 2019	Emissione a seguito nota DL nr.003/CD/19 del 05.02.2018												A.ANTONELLI	P.PAGLINI	
A	Aprile 2018	EMISSIONE				AK	G.KALAMARAS							A.ANTONELLI	P.PAGLINI	
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDATTO	VERIFICATO							APPROVATO	AUTORIZZATO	

Il Progettista:

Il Consulente Specialista:

Il Geologo:

Il Coordinatore per la sicurezza:

Il Direttore dei Lavori:



Responsabile del procedimento: Ing. LUIGI MUPO

INDICE

1.INTRODUZIONE	2
1.1 Normativa di riferimento.....	2
1.2 Caratteristiche dei materiali	2
2.PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	4
3.LA SEZIONE TIPO BYPASS CARRABILE	5
4.CRITERI DI VERIFICA	9
4.1 Azioni e resistenze di progetto.....	9
5.METODO DI CALCOLO	11
5.1 Modelli RS2	11
5.2 Legge di comportamento dei materiali	11
5.2.1 Ammasso roccioso.....	11
5.2.2 Sostegno di prima fase	11
5.2.3 Rivestimento definitivo	12
5.2.4 Consolidamento al contorno di scavo	12
5.2.5 Consolidamenti in avanzamento	12
5.3 Simulazioni delle fasi esecutive	14
5.4 Modello Straus7.....	14
5.5 Combinazioni di carico.....	15
6.RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE	16
6.1 Sezione tipo Bypass pedonale - sezione corrente	16
6.2 Sezione tipo Bypass carrabile - sezione d'attacco (sostegno di prima fase)	19
6.3 Sezione tipo Bypass carrabile - sezione d'attacco (rivestimento definitivo).....	22
7.VERIFICHE DEL SOSTEGNO DI PRIMA FASE	26
7.1 Verifiche strutturali.....	27
7.2 Sollecitazioni e verifiche per la sezione tipo Bypass carrabile_sezione corrente.....	28
7.3 Sollecitazioni e verifiche per la sezione tipo Bypass carrabile_sezione d'attacco (portale)	29
8.VERIFICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO	30
8.1 Criteri di verifica ed azioni di calcolo	30
8.2 Resistenze di calcolo.....	30
8.3 Verifiche strutturali.....	30
8.4 Sollecitazioni agenti.....	32
8.5 Verifiche strutturali.....	38
9.STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO	44
10. MONITORAGGIO	45

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 1 di 45

1. INTRODUZIONE

Il presente documento è redatto nell'ambito dei lavori di adeguamento alla categoria B della S.S. 640 secondo le norme del DM 5.11.2001 dell'itinerario Agrigento-Caltanissetta-A19 dal km 44+000 allo svincolo con la A19.

La presente relazione illustra il dimensionamento geotecnico e strutturale delle sezioni tipo di scavo previste per la realizzazione dei bypass carrabili alla luce del comportamento geotecnico del terreno emerso a seguito dello scavo delle due canne della galleria Caltanissetta.

1.1 Normativa di riferimento

Le verifiche statiche e la redazione della presente relazione sono state eseguite nel rispetto della Normativa in vigore e di alcune raccomandazioni, in particolare:

- **DM Infrastrutture del 14 gennaio 2008** – Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – ed in particolare il capitolo 6 – Progettazione Geotecnica.
- **“Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”** n°17 del 2 febbraio 2009.

1.2 Caratteristiche dei materiali

I materiali impiegati sono:

CALCESTRUZZO

MAGRO E DI RIEMPIMENTO UNI EN 206-1 (2006)

- CLASSE DI RESISTENZA: C12/15

CLS PER OPERE STRUTTURALI UNI EN 206-1 (2006) UNI 11104 (2004)

- CLASSE DI RESISTENZA: C35/45
- CLASSE DI CONSISTENZA: S4 – S5
- CLASSE DI ESPOSIZIONE: XC2

CLS PER OPERE STRUTTURALI UNI EN 206-1 (2006) UNI 11104 (2004)

- CLASSE DI RESISTENZA: C32/40
- CLASSE DI CONSISTENZA: S4 – S5
- CLASSE DI ESPOSIZIONE: XC2

CLS PROIETTATO ARMATO CON FIBRE SINTETICHE O CON RETE ELETTROSALDATA

- RESISTENZA MEDIA SU CAROTE $h/\varnothing=1$ (a 48h) $\geq 15\text{MPa}$
- RESISTENZA MEDIA SU CAROTE $h/\varnothing=1$ (a 28gg) $\geq 30\text{MPa}$

ACCIAIO

<i>Cod. elab.:</i> 125GN204GN02ZCL487A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	<i>Data:</i> Aprile 2018
<i>Nome file:</i> v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	<i>Pagina</i> 2 di 45

VARIANTE

ACCIAIO PER ARMATURA CLS E CATENE

BARRE $\varnothing \leq 40\text{mm}$

ACCIAIO B450C

- TENSIONE CARATTERISTICA DI SNERVAMENTO (f_{yk}) : 450MPa
- TENSIONE CARATTERISTICA A ROTTURA (f_{tk}): 540MPa

RETE ELETTROSALDATA

- TENSIONE CARATTERISTICA DI SNERVAMENTO (f_{yk}): 390MPa

PROFILATI METALLICI PER CENTINE, PIASTRE E CATENE (S275)

- TENSIONE CARATTERISTICA DI SNERVAMENTO: 275MPa

TUBI IN VETRORESINA 60/40 AD ADERENZA MIGLIORATA

- DIAMETRO INTERNO: 40mm
- DIAMETRO ESTERNO: 60mm
- AREA RESISTENTE: 1570mm²
- PROFONDITA' ADERENZA MIGLIORATA: ≥ 1
- DENSITA': $\geq 1.8\text{Kg/dm}^3$
- MODULO ELASTICO A TRAZIONE: $\geq 15000\text{MPa}$
- DIAMETRO DI PERFORAZIONE, $\varnothing_{\text{perf}}$: $\geq 110\text{mm}$

MISCELE CEMENTIZIE PER CEMENTAZIONE VTR

- CEMENTO: 42.5R
- CLASSE DI RESISTENZA: C20/25
- RAPPORTO A/C: 0.5/0.7
- ADDITIVO FLUIDIFICANTE (percentuale di peso sul cemento): 1-2%

FIBRE SINTETICHE PER CLS PROIETTATO

- FIBRE DI POLIPROPILENE IBRIDE STRUTTURALE
- RESISTENZA A TRAZIONE: $\geq 620\text{MPa}$
- DOSAGGIO: $\geq 2.6\text{kg/mc}$

TNT

- STRATO DI TESSUTO NON TESSUTO DI 500gr/mq A FILO CONTINUO

IMPERMEABILIZZAZIONE IN PVC

- TELI PER IMPERMEABILIZZAZIONE: SP. = 2 mm. $\pm 0.5\%$, $\gamma \geq 1.3\text{g/cmq}$

DRENAGGI (EVENTUALI)

- TUBI MICROFESSURATI IN PVC AD ALTA RESISTENZA (4.5MPa ALLA TRAZIONE), DIAMETRO ESTERNO $\varnothing 60\text{mm}$, SP.: 5mm, PREFORO $\varnothing 91\text{mm}$, RIVESTITI CON TNT
- I PRIMI 10m DA BOCCA FORO DOVRANNO ESSERE CIECHI.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 3 di 45

2. PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Sulla base delle analisi condotte a ritroso, al fine di simulare il reale comportamento misurato in sito, sono stati determinati i parametri deformativi del terreno. Per maggiori dettagli in merito si rimanda alla relazione giustificativa della variante, mentre nella tabella seguente se ne riporta una sintesi.

Tabella 2.1: Parametri geotecnici definiti a ritroso.

Litotipo	γ [kN/m ³]	Cu [kPa]	c_k' [kPa]	ϕ_k' [°]	E [MPa]	ν [-]
Sabbie di Lannari (SLN)	20	-	5	20	30	0.30
Argille marnose del Geracello (GER)	23	50	30	24	70	0.30
Trubi pliocenici (TRB) indisturbati ad alta copertura	23	200	30	24	70	0.30
Argille brecciate plioceniche (TRVb) indisturbate	23	300	23	24	80	0.30
Fasce cataclasate e zone di sovrascorrimento a bassa copertura	23	300	12	20	80	0.30

dove:

γ	: peso di volume naturale
ν	: rapporto di Poisson
E	: modulo di deformabilità
ϕ_k'	: angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)
c_k'	: coesione efficace (valore caratteristico)
Cu	: coesione non drenata valore caratteristico)

Ai fini delle verifiche, sono state assunte le condizioni drenate considerando che le verifiche strutturali e geotecniche sono effettuate a lungo termine. Per quanto attiene invece le verifiche a breve termine relative al fronte di scavo, sono stati utilizzati i parametri in condizioni non drenate.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 4 di 45

3. LA SEZIONE TIPO BYPASS CARRABILE

Lo stato tensionale e deformativo rilevato durante la costruzione della galleria Caltanissetta, superiore alle aspettative progettuali e imputabile a un imprevisto comportamento geotecnico del materiale interessato dallo scavo, ha fatto sì che fossero rivalutati i parametri geotecnici sulla base delle osservazioni condotte.

In questa fase progettuale pertanto sono state proposte delle sezioni tipo di scavo per i bypass carrabili, tali da adattarsi al nuovo set di parametri geotecnici che rappresentano il reale comportamento osservato. Si precisa inoltre che la stratigrafia è la medesima del Progetto Esecutivo, per lo più confermata dai rilievi condotti in fase di scavo.

In sintesi la proposta progettuale per la sezione tipo bypass carrabile prevede:

- Consolidamento del fronte mediante n°36 elementi strutturali in VTR, L=16m, sovrapposizione 8m, cementati in foro con miscele cementizie.
- Consolidamento al contorno con n°35±10% elementi strutturali in VTR, L=16m, cementati in foro con miscele cementizie.
- Sostegno di prima fase costituito da centine HEB300, passo 70cm±20% e arco puntone. Il cls proiettato fibrorinforzato avrà spessore di 35cm.
- Rivestimento definitivo in c.a. dello spessore di 60cm in calotta e 70cm in arco rovescio.
- Il rivestimento definitivo prevede un'impermeabilizzazione full-round al contorno.

Il collegamento tra la sezione di linea e il bypass carrabile (sezione corrente) avverrà mediante un allargo (portale), ossia una sezione simile a quella della sezione corrente con dimensione di scavo maggiore.

Nella sezione d'attacco (portale), di lunghezza complessiva di 4.25m, le centine sono posizionate ad un passo inferiore pari a 50cm, mentre lo spessore minimo del rivestimento definitivo è di 1.05m in calotta e 1.40m in arco rovescio.

Rispetto alla sezione tipo di Progetto Esecutivo, la nuova proposta prevede un sostegno di prima fase più rigido al fine di limitare i cedimenti imputabili allo scavo della sezione. Inoltre il sostegno di prima fase e il rivestimento definitivo sono stati adeguati ai nuovi carichi geotecnici derivanti dal fatto che il terreno è stato simulato mediante parametri determinati a ritroso dall'analisi dei cedimenti osservati per lo scavo della galleria principale.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 5 di 45

VARIANTE

**BY-PASS CARRABILE
 CONSOLIDAMENTO DALLA GALLERIA PRINCIPALE**

SCALA 1/50

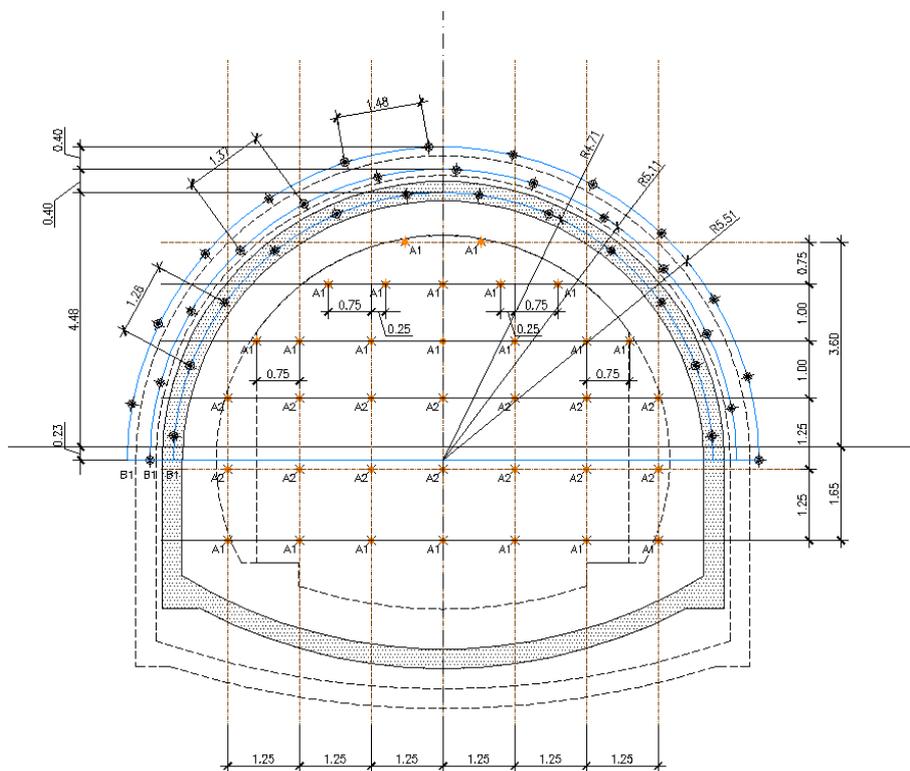


Figura 3.1: sezione tipo bypass carrabile – sezione corrente – scavo, consolidamenti e sostegno di prima fase.

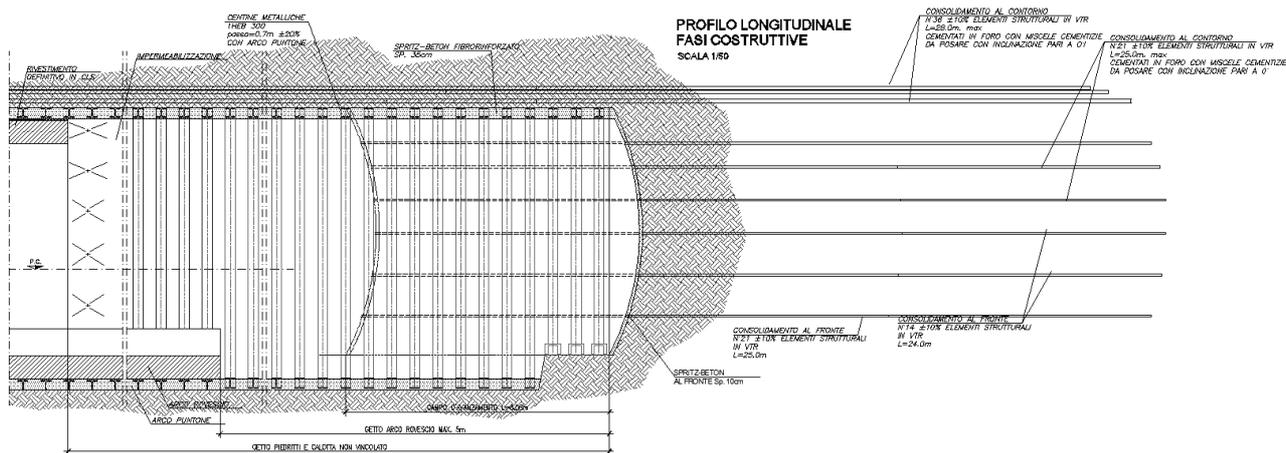


Figura 3.2: sezione tipo bypass carrabile – sezione corrente – profilo longitudinale e fasi costruttive.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 6 di 45

VARIANTE

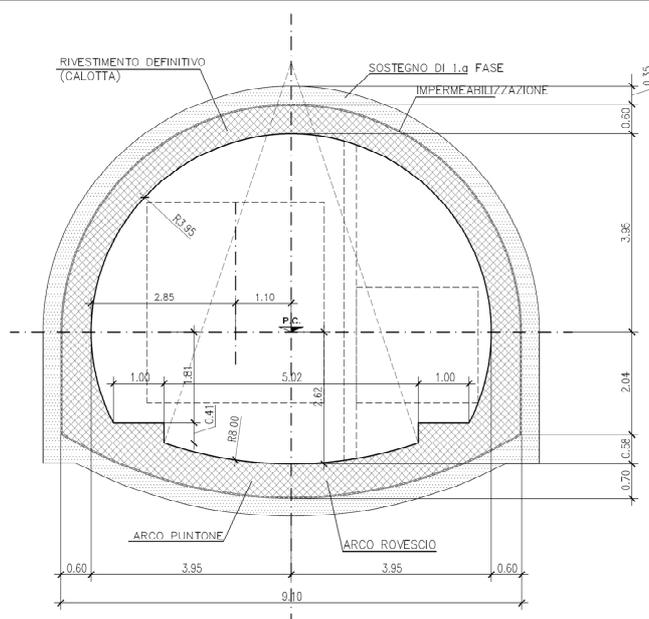


Figura 3.3: sezione tipo bypass carrabile – sezione corrente – carpenteria rivestimento definitivo.

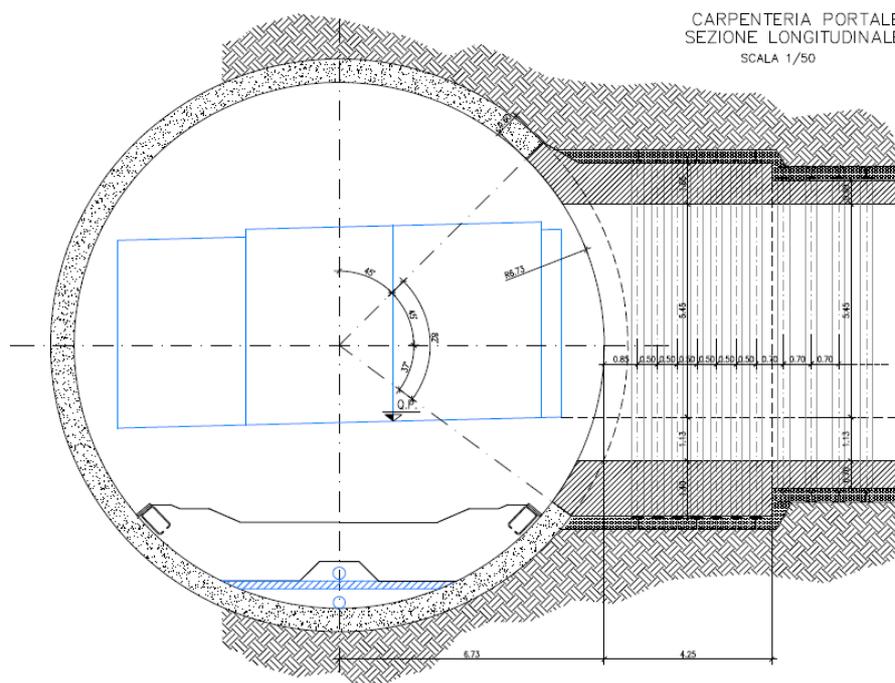


Figura 3.4: sezione tipo bypass carrabile – sezione longitudinale portale.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 7 di 45

4. CRITERI DI VERIFICA

Nel presente capitolo sono descritti i metodi, le assunzioni di calcolo ed i parametri di progetto adottati per le verifiche geotecniche e strutturali delle opere in oggetto.

Le verifiche allo stato limite prevedono un approccio di tipo semiprobabilistico in base al quale le azioni e le resistenze di progetto sono definite sulla base dei valori caratteristici, applicando i coefficienti parziali di seguito definiti:

Azioni: $F_d = (F_k \times \Psi) \times \gamma_F$

Proprietà del terreno: $X_d = X_k / \gamma_M$

Resistenza del terreno: $R_d = R_k / \gamma_R$

Dove:

F: indica genericamente un'azione,

Ψ : indica un fattore ≤ 1.0 che è definito nell'ambito della combinazione di carico;

X: indica genericamente un parametro di resistenza del terreno;

R: indica genericamente la resistenza limite calcolata;

$\gamma_F, \gamma_M, \gamma_R$: indicano i coefficienti parziali.

Una volta definiti i parametri di progetto si verifica che valga la relazione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove:

$E_d = F_k \times \Psi \times \gamma_F$ [effetti delle azioni],

$R_d = 1 / \gamma_R \times R_k$ ($F_k \times \Psi \times \gamma_F, X_k / \gamma_M$) [resistenza del terreno].

4.1 Azioni e resistenze di progetto

I coefficienti parziali γ_F che si riferiscono alle azioni sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 4.1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	(A1)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0
	Sfavorevole		1.3
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0
	Sfavorevole		1.5
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0
	Sfavorevole		1.5

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 9 di 45

VARIANTE

Dove risulta impossibile applicare i coefficienti parziali alle azioni (ad es. spinta dell'acqua e/o delle terre) gli stessi coefficienti possono essere applicati agli effetti delle azioni (sollecitazioni). In questo caso si ha la presenza di soli carichi permanenti, pertanto risulta:
 $\gamma_F=1.3$.

<i>Cod. elab.:</i> 125GN204GN02ZCL487A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	<i>Data:</i> Aprile 2018
<i>Nome file:</i> v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	<i>Pagina</i> 10 di 45

5. METODO DI CALCOLO

Il metodo di calcolo impiegato è quello degli elementi finiti (FEM) implementato tramite i codici commerciali RS2, ver.9.020, prodotto dalla Rocscience Inc[®] e Straus7, ver. 2.4.6, prodotto dalla G+D Computing.

RS2 è stato utilizzato per analizzare il sostegno di prima fase della sezione corrente e del portale ed è un programma agli elementi finiti che consente di svolgere analisi bi-dimensionali (e assial-simmetriche) in campo elasto-plastico per la valutazione dello stato di sforzo e di spostamento al contorno di opere in sotterraneo e di analizzare la risposta tenso-deformativa dei sostegni installati a supporto degli scavi.

Straus7 è un codice di calcolo strutturale ed è stato utilizzato per analizzare il rivestimento definitivo del portale di collegamento tra la galleria e il by-pass, dal momento che presenta una geometria tridimensionale e sono applicati oltre ai carichi geotecnici anche i carichi trasmessi dalla galleria principale per effetto del taglio negli anelli.

5.1 Modelli RS2

I modelli numerici per la sezione corrente e per la verifica del sostegno di prima fase del portale sono realizzati tramite una maglia d'elementi triangolari i cui confini sono stati collocati ad una distanza dalla sezione della galleria tale da non risentire degli effetti di bordo; il bordo superiore del modello coincide con il profilo topografico del terreno.

Lo stato tensionale iniziale è stato supposto litostatico ed è stato riprodotto nel modello tramite la fase 1, applicando un campo di sforzo di tipo gravitazionale.

5.2 Legge di comportamento dei materiali

5.2.1 Ammasso roccioso

La legge di comportamento (criterio di rottura di Mohr-Coulomb) degli elementi che simulano il terreno è stata assunta di tipo elasto-plastico ideale (valori di picco coincidenti con i valori residui).

5.2.2 Sostegno di prima fase

Il sostegno di prima fase è stato simulato con elementi beams aventi comportamento elastico adottando la formulazione di Bernoulli. Gli elementi beams, nel modello matematico, sono stati simulati con un materiale di rigidità equivalente.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 11 di 45

I valori dello spessore (s_{eq}) e del modulo elastico (E_{eq}) equivalente sono ricavati dalla risoluzione del seguente sistema lineare:

$$(E_s/E_c-1)*E_c*A_s/i + E_c*A_c = E_{eq}*s_{eq}$$

$$(E_s/E_c-1)*E_c*J_s/i + E_c*J_c = E_{eq}*s_{eq}^3/12$$

Dove:

E_s = modulo elastico dell'acciaio

A_s, J_s = area e momento d'inerzia delle centine a metro lineare

i = interasse centine

E_c = modulo elastico del cls proiettato

A_c, J_c = area e momento d'inerzia del cls proiettato per metro lineare

Cautelativamente si è ipotizzato che a lungo termine il sostegno di prima fase non sia più attivo e che tutti i carichi siano trasferiti al rivestimento definitivo.

5.2.3 Rivestimento definitivo

Il rivestimento definitivo della sezione corrente è simulato tramite elementi triangolari. La legge di comportamento degli elementi del rivestimento è stata assunta di tipo elastica. Gli elementi che simulano il rivestimento definitivo sono stati introdotti in presenza del sostegno di prima fase.

5.2.4 Consolidamento al contorno di scavo

All'interno del modello di calcolo, l'effetto prodotto dal consolidamento radiale è stato tenuto in conto incrementando le caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale consolidato. La fascia di terreno consolidata considerata nel modello è pari allo spessore minimo previsto.

5.2.5 Consolidamenti in avanzamento

All'interno del modello di calcolo, l'effetto prodotto dal consolidamento radiale è stato tenuto in conto incrementando le caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale consolidato. La fascia di terreno consolidata considerata nel modello è pari allo spessore minimo previsto.

Al fine di valutare il contributo di resistenza offerto dai consolidamenti, è stata calcolata una coesione equivalente mediante le formulazioni proposte da Bischoff e Smart (1977), secondo le quali l'incremento di pressione di confinamento $\Delta\sigma_3$ può essere espressa in

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 12 di 45

termini di geometria e di proprietà di resistenza degli elementi di rinforzo ed è funzione del numero di elementi resistenti, della loro capacità e dell'area della sezione di scavo.

Per il criterio di Coulomb il contributo migliorativo si esprime:

$$\tau = c + (\sigma + \Delta\sigma_3) \cdot \tan\phi$$

dove:

c e ϕ sono la coesione e l'angolo di resistenza al taglio dell'ammasso;

σ è la tensione normale agente lungo il piano di rottura;

τ è la resistenza al taglio lungo il piano di rottura;

$\Delta\sigma_3$ è l'incremento di pressione indotto dal consolidamento del terreno.

Quest'ultimo parametro è stato determinato a partire dalla forza resistente di ciascun elemento di vetroresina, il cui valore corrisponde al minimo della resistenza ottenibile per le due seguenti situazioni:

- rottura per trazione della barra:

$$F_1 = f_{yk} \cdot A_{barra}$$

dove:

f_{yk} è la tensione di snervamento della vetroresina;

A_{barra} è l'area della sezione della barra di vetroresina.

- rottura per sfilamento dal terreno della barra lungo la superficie di ancoraggio (al di là della superficie di scorrimento):

$$F_2 = \tau \cdot \alpha \cdot A_{scorr} = \tau \cdot \alpha \cdot D \cdot \pi \cdot l_0$$

dove:

τ è la resistenza al taglio che si sviluppa lungo la superficie di contatto tra la malta iniettata ed il terreno;

α è il coefficiente di sbulbamento

D è il diametro del foro;

l_0 è la lunghezza minima della barra.

Considerando che, i bypass esaminati si sviluppano principalmente all'interno della formazione TRVb, nella seguente tabella vengono riportati i valori della tensione di aderenza e del coefficiente di sbulbamento, utilizzati nelle analisi.

Tabella 5.1: tensione di aderenza adottata per l'unità geotecnica GER.

Unità geotecnica	Tensione di aderenza τ [kPa]	Coefficiente di sbulbamento α
TRVb	100	1.10 (miscele cementizie)

Considerando il valore minimo si ricava l'incremento di tensione normale nel modo seguente:

$$\Delta\sigma_3 = F n / A$$

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 13 di 45

dove:

n è il numero medio di barre in vetroresina installate;

A è l'area su cui è stato eseguito il consolidamento.

La coesione equivalente è così determinata:

$$c_g = c + \Delta\sigma_3 \cdot \tan\phi$$

5.3 Simulazioni delle fasi esecutive

Le fasi esecutive e l'effetto del passaggio del fronte di scavo attraverso la generica sezione di calcolo, sono simulate facendo decadere la pressione fittizia interna alla sezione di scavo.

5.4 Modello Straus7

Il modello di calcolo del portale è costituito da elementi *bricks* tetraedrici che simulano l'effettiva geometria del collegamento tra la galleria e la sezione corrente del by-pass ed elementi *beam* che simulano l'interazione terreno-struttura e il confinamento laterale garantito dagli anelli adiacenti al portale mediante la funzione point contacts. Gli elementi point contact sono in grado di reagire solo a compressione trasmettendo l'attrito tra il terreno e la struttura e tra il portale e gli anelli adiacenti della galleria principale.

Per il terreno che circonda il by-pass è stata assunta una rigidezza di confinamento

secondo la formulazione di Galerkin $k_n = \frac{E}{R(1+\nu)}$, poi attribuita ai point contact che

circondano la galleria secondo gli interassi longitudinali e radiali e a cui è stato associato un coefficiente di attrito pari a $\mu=0.3$, a partire dall'angolo di attrito del materiale $\mu = \tan(2/3 \times 24^\circ)$. Il modulo elastico del calcestruzzo costituente il portale è assunto pari a 34GPa, il coefficiente di attrito tra calcestruzzo del portale e quello degli anelli di galleria adiacenti è stato posto uguale a $\mu = 0.7$.

I carichi trasferiti dalla galleria al portale sono stati inseriti nel modello di calcolo mediante pressioni circonferenziali (rispetto al sistema di coordinate della galleria principale) agenti in corrispondenza dell'area di contatto tra i conci e il portale: la pressione imposta è pari a $p = 20\text{MPa}/1.64 = 12.2\text{MPa}$ (in cui 20MPa è la tensione misurata nel giunto tra i conci e 1.64 è il coefficiente riduttivo che tiene conto della misurazione nel giunto ovvero è il rapporto dell'area della sezione del concio e l'area ridotta di contatto tra i conci). Sulla sezione del by-pass è stata considerata una pressione di 385kPa, ricavata a partire dalla

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 14 di 45

pressione misurata nei conci della galleria principale (20MPa) che restituisce, mediante la formula di Mariotte, la pressione radiale agente sul contorno della galleria (1042kPa), quest'ultima è stata poi applicata al contorno del by-pass rendendola proporzionale secondo il rapporto tra le dimensioni del by-pass rispetto alla galleria principale ($A_{\text{by-pass}}/A_{\text{galleria}}$).

Nell'immagine seguente è mostrato il modello di calcolo del portale.

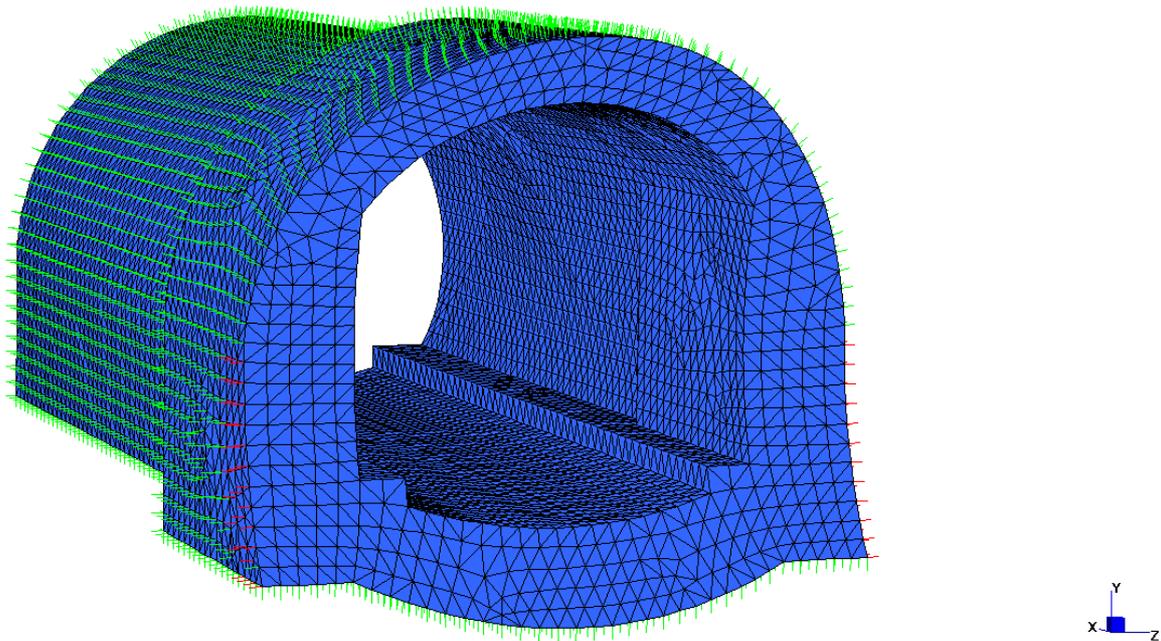


Figura 5.1: Modello di calcolo 3D agli elementi finiti per il dimensionamento del portale di collegamento tra la galleria principale e il by-pass implementato con il codice di calcolo Straus7. In verde i *point contact* che simulano l'interazione terreno struttura, in rosso quelli che simulano l'interazione con gli anelli adiacenti della galleria principale.

5.5 Combinazioni di carico

Sono state analizzate due combinazioni di carico, una nelle condizioni di esercizio (SLE, con coefficiente per le azioni $\gamma_Q = 1.0$) e l'altra per la condizione di SLU, con coefficiente per le azioni pari a $\gamma_Q = 1.3$.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 15 di 45

6. RISULTATI DELLE ANALISI NUMERICHE

6.1 Sezione tipo Bypass pedonale - sezione corrente

Di seguito si riportano le fasi esecutive impiegate nel modello in oggetto. E' stata considerata una copertura massima pari a circa 120m corrispondente alla copertura massima prevista. Con riferimento all'elaborato 3569-03 (Relazione Geologica) lo scavo del Bypass n. 4 carrabile avviene in una breccia di trubi (TRB), mentre al di sopra della calotta del rivestimento definitivo la formazione prevealente è quella delle argille brecciate (formazione di terra vecchia TRvb). Lo schema pertanto più realistico dello scavo è quello rappresentato in Tabella 6.2. con la galleria caricata dalla formazione di terravechia. Tale assunzione è a favore di sicurezza perché le due formazioni hanno gli stessi parametri geotecnici (c' e ϕ') ma il modulo elastico della fromazione TRvb è molto più basso 80 Mpa contro 130 Mpa, ciò si traduce in carichi più elevati sul rivestimento provvisorio e definitivo.

Tabella 6.1: Simulazione delle fasi di scavo.

Fase	Descrizione	Elementi attivi			p_i [% p_0]
		consolidamento radiale	cls proiet.-centine	Rivestimento definitivo	
1	Geostatico	-	-	-	-
2	Applicazione della pressione interna fittizia alla sezione di scavo	-	-	-	100
3	Decadimento della pressione interna alla sezione di scavo e simulazione del consolidamento radiale	✓	-	-	90
4-6	Decadimento della pressione interna alla sezione di scavo	✓	-	-	80-60
7	Situazione al fronte di scavo	✓	-	-	50
8	Ulteriore decadimento della pressione interna				40
9	Installazione del sostegno di prima fase	✓	✓	-	30
10	Ulteriore decadimento della pressione interna	✓	✓	-	20
11	Ulteriore decadimento della pressione interna e installazione dell'arco puntone	✓	✓	-	10
12	Situazione lontano dal fronte di scavo interna e getto dell'arco rovescio	✓	✓	✓	0
13	Completamento del getto del rivestimento definitivo	✓	✓	✓	0
14	Disattivazione dei sostegni di prima fase	-	-	✓	0
15	Situazione a lungo termine	-	-	✓	0

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 16 di 45

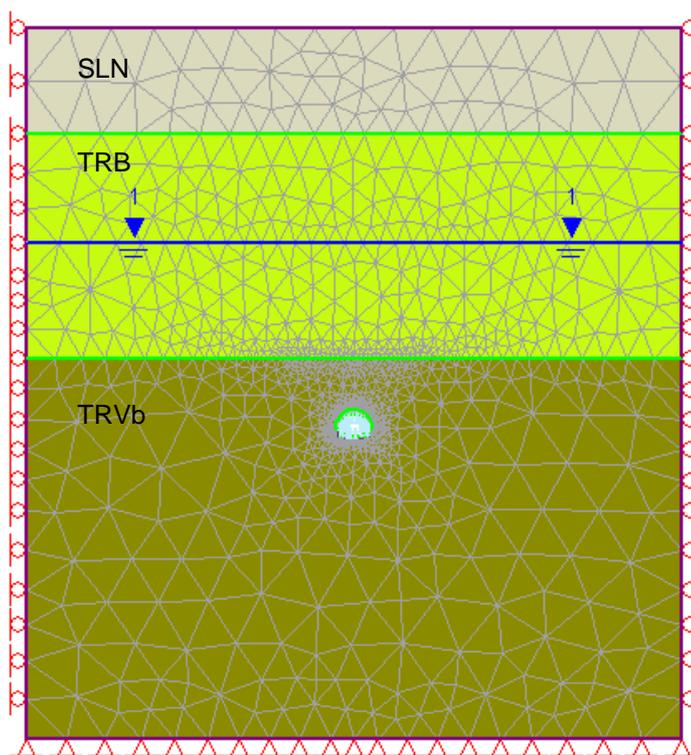
Si riportano di seguito i risultati delle analisi numeriche in termini di deformazioni al contorno del cavo.

Tabella 6.2: Modello di calcolo – Sezione tipo Bypass_carrabile – sezione corrente.

ANALISI:

Gruppo geotecnico principale: TRV_b

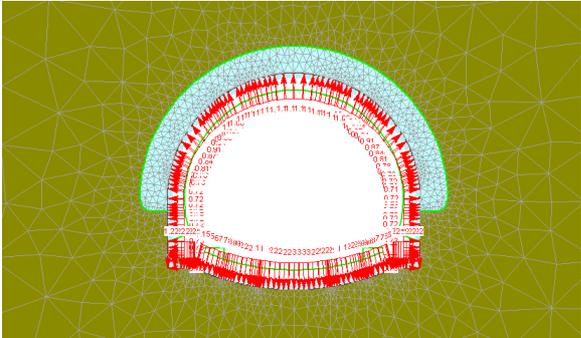
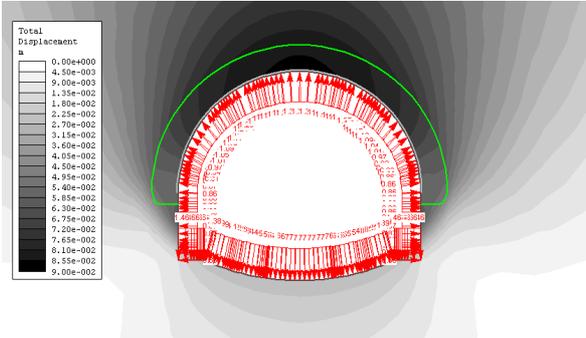
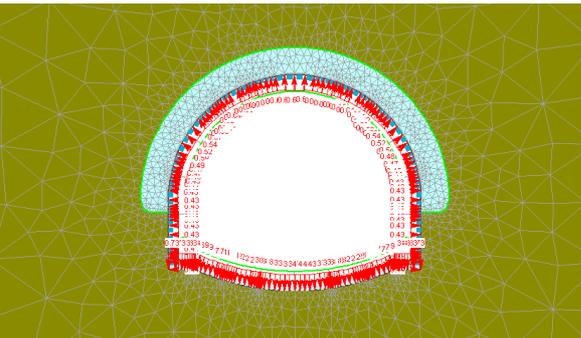
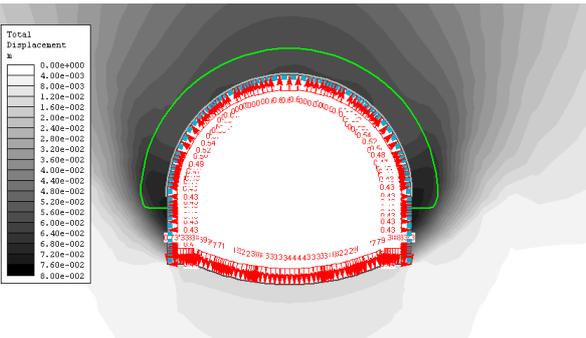
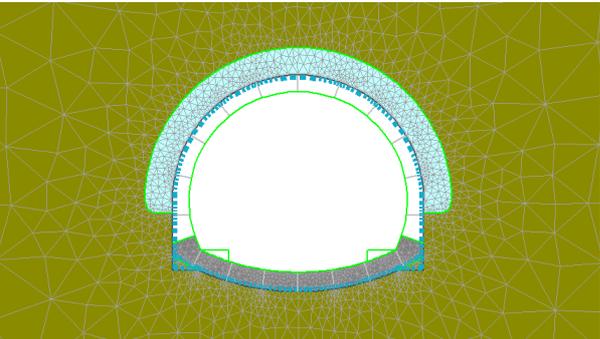
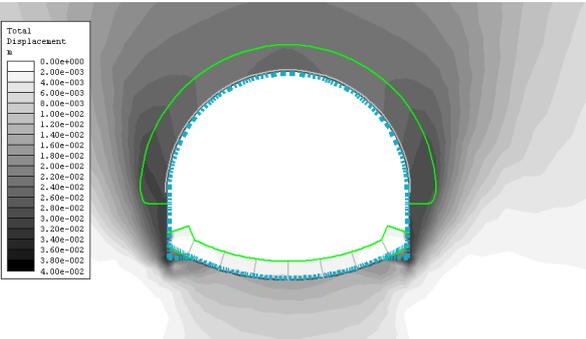
Parametri geotecnici:	Angolo di attrito, ϕ'	24°
	Coesione, c	23kPa
	Modulo di deformabilità, E	80MPa
	Peso specifico, γ	23kN/m ³
Numero di fasi costruttive simulate	15, software: RS2 Versione 9.02 (Rocscience Inc [®])	



Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 17 di 45

VARIANTE

Tabella 6.3: risultati delle analisi in termini di spostamenti.

FASE DI ANALISI	RISULTATI - ISOLINEE DI DEFORMAZIONE
Fase 7	<p><u>Situazione al fronte di scavo:</u> massimi spostamenti in corrispondenza della calotta pari a circa 8.5cm.</p>
	
Fase 9	<p><u>Istallazione sostegno di prima fase.</u> Spostamenti massimi riferiti alla fase 7, nella zona dei piedritti, pari a circa 7.5cm.</p>
	
Fase 13	<p><u>Situazione lontano dal fronte di scavo.</u> Spostamenti massimi, riferiti alla fase 9, nella zona dei piedritti, pari a circa 3.2cm.</p>
	

6.2 Sezione tipo Bypass carrabile - sezione d'attacco (sostegno di prima fase)

Di seguito si riportano le fasi esecutive impiegate nel modello in oggetto. E' stata considerata una copertura massima pari a circa 120m corrispondente alla copertura massima prevista.

Tabella 6.4: Simulazione delle fasi di scavo.

Fase	Descrizione	Elementi attivi		p _i [%p ₀]
		cls proiet.-centine	Rivestimento definitivo	
1	Geostatico	-	-	-
2	Applicazione della pressione interna fittizia alla sezione di scavo	-	-	100
3÷9	Decadimento della pressione interna alla sezione di scavo	-	-	80-30
10	Situazione al fronte di scavo	-	-	20
11	Installazione del sostegno di prima fase	✓	-	10
12	Ulteriore decadimento della pressione interna e installazione dell'arco puntone	✓	-	5
13	Situazione lontano dal fronte di scavo	✓	-	0
14	Getto in opera dell'arco rovescio	✓	✓	0
15	Completamento del getto del rivestimento definitivo	✓	✓	0
16	Disattivazione dei sostegni di prima fase	-	✓	0
17	Situazione a lungo termine	-	✓	0

Si riportano di seguito i risultati delle analisi numeriche in termini di deformazioni al contorno del cavo.

Tabella 6.5: Modello di calcolo – Sezione tipo Bypass_carrabile – sezione d'attacco (portale).

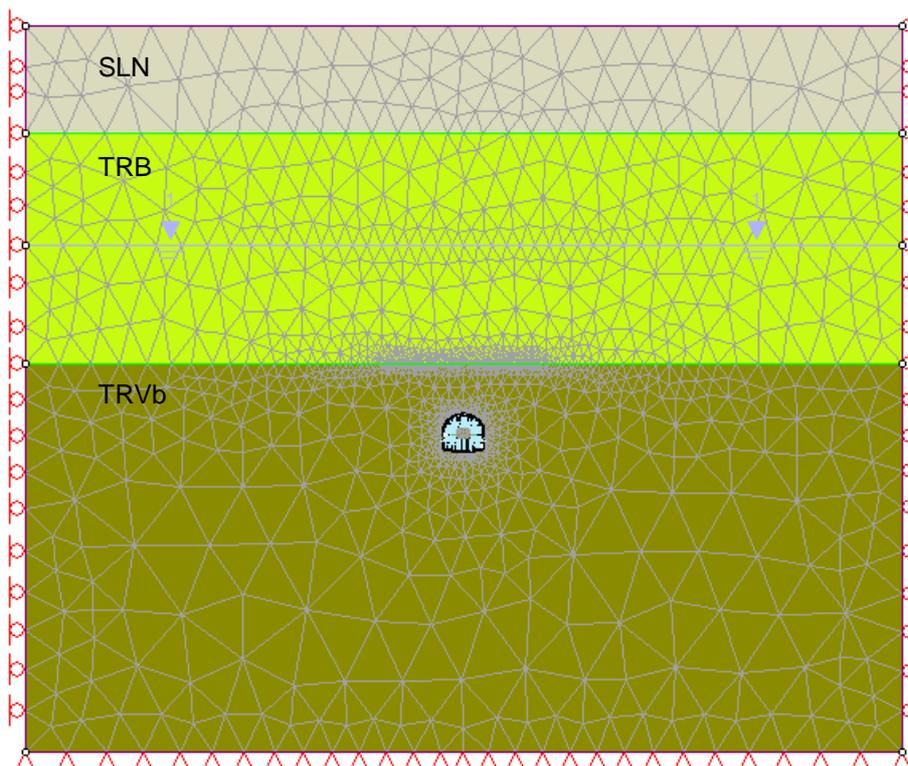
Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 19 di 45

VARIANTE

ANALISI:

Gruppo geotecnico principale: TRV_b

Parametri geotecnici:	Angolo di attrito, ϕ'	24°
	Coesione, c	23kPa
	Modulo di deformabilità, E	80MPa
	Peso specifico, γ	23kN/m ³
Numero di fasi costruttive simulate	17, software: RS2 Versione 9.02 (Rocscience Inc®)	



Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 20 di 45

VARIANTE

Tabella 6.6: risultati delle analisi in termini di spostamenti.

FASE DI ANALISI	RISULTATI - ISOLINEE DI DEFORMAZIONE
Fase 10	Situazione al fronte di scavo: massimi spostamenti pari a circa 24cm.
Fase 11	Istallazione sostegno di prima fase. Spostamenti massimi riferiti alla fase 10, nella zona dei piedritti, pari a circa 8.4cm.
Fase 13	Situazione lontano dal fronte di scavo. Spostamenti massimi, riferiti alla fase 11, inferiori a 2cm.

6.3 Sezione tipo Bypass carrabile - sezione d'attacco (rivestimento definitivo)

Di seguito si riporta l'andamento degli spostamenti e delle tensioni nella struttura per le direzioni principali.

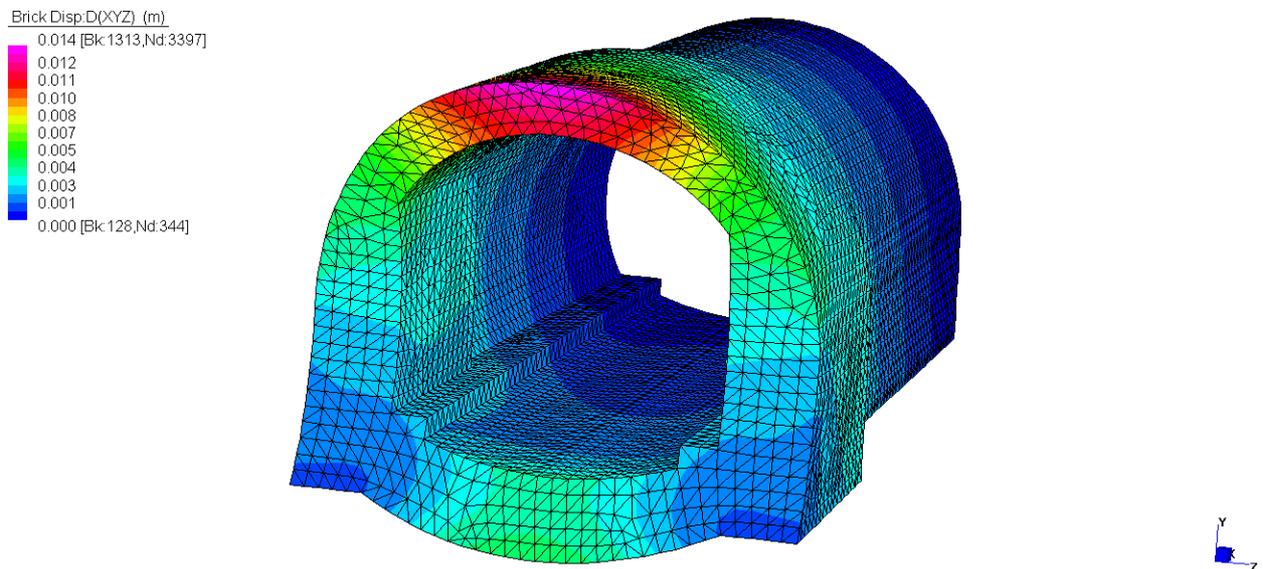


Figura 6.1: Risultati dell'analisi 3D in termini di spostamenti totali (δ_{xyz}) – condizione di SLE.

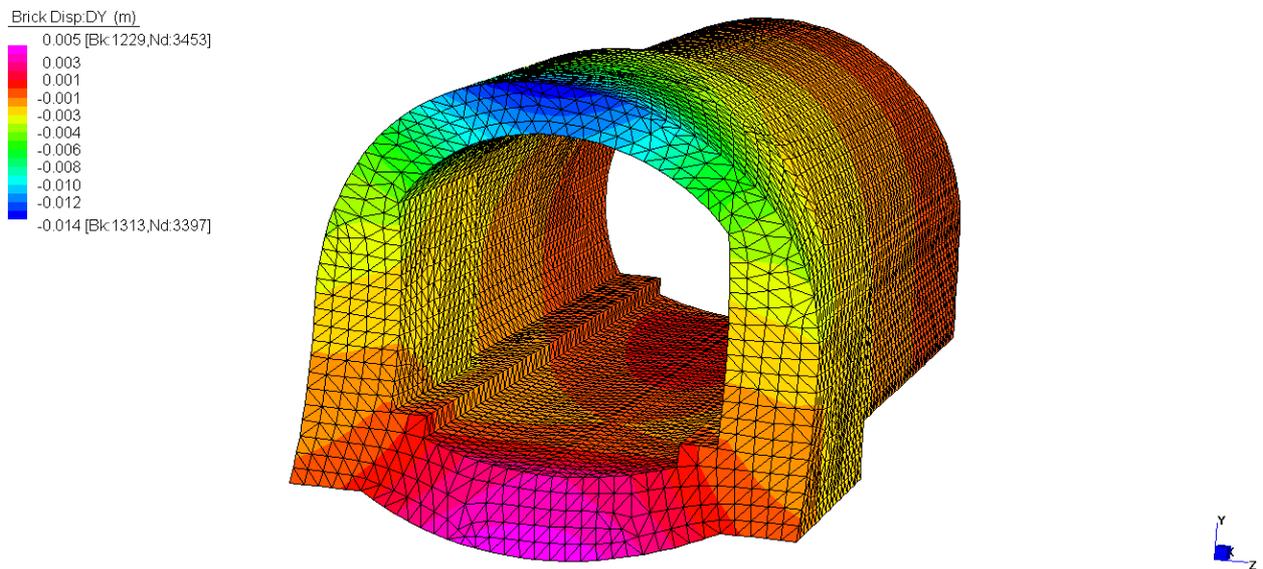


Figura 6.2: Risultati dell'analisi 3D in termini di spostamenti verticali (y), spostamento massimo $\delta_{y,max} = 1.4\text{cm}$ – condizioni di SLE.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 22 di 45

VARIANTE

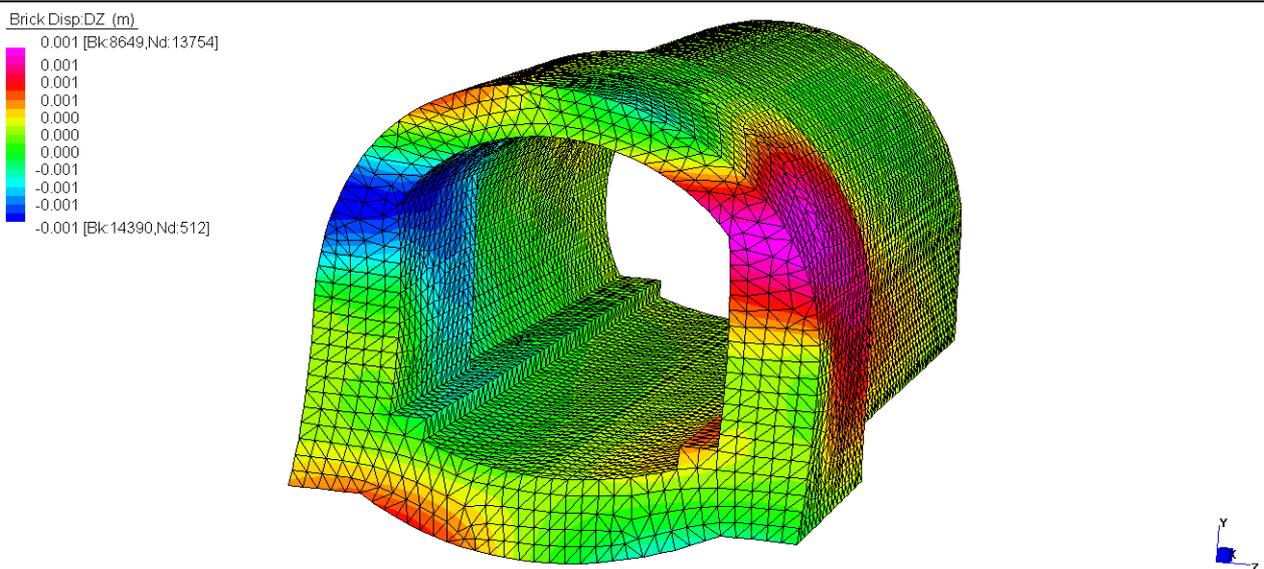


Figura 6.3: Risultati dell'analisi 3D in termini di spostamenti longitudinali alla galleria principale (z), spostamento massimo $\delta_{y,max} = 0.1\text{cm}$ – condizioni di SLE.

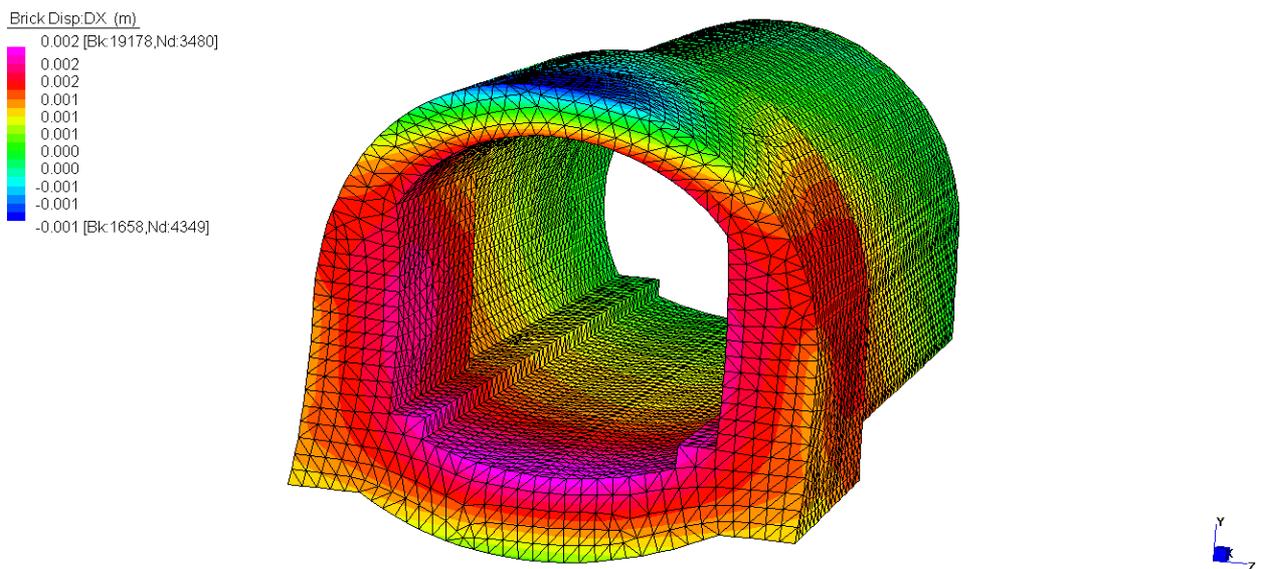


Figura 6.4: Risultati dell'analisi 3D in termini di spostamenti trasversali alla galleria principale (x), spostamento massimo $\delta_{x,max} = 0.2\text{cm}$ – condizioni di SLE.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 23 di 45

VARIANTE

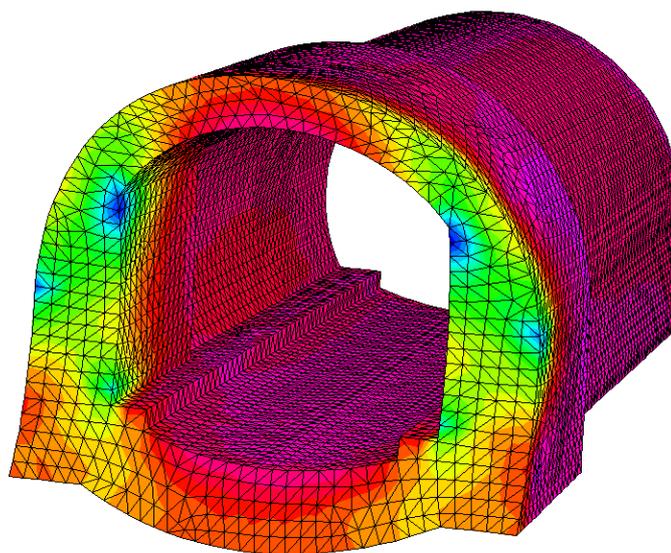
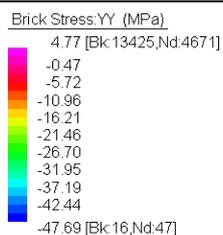


Figura 6.5: Risultati dell'analisi 3D in termini di tensioni verticali (y) – condizioni di SLE.

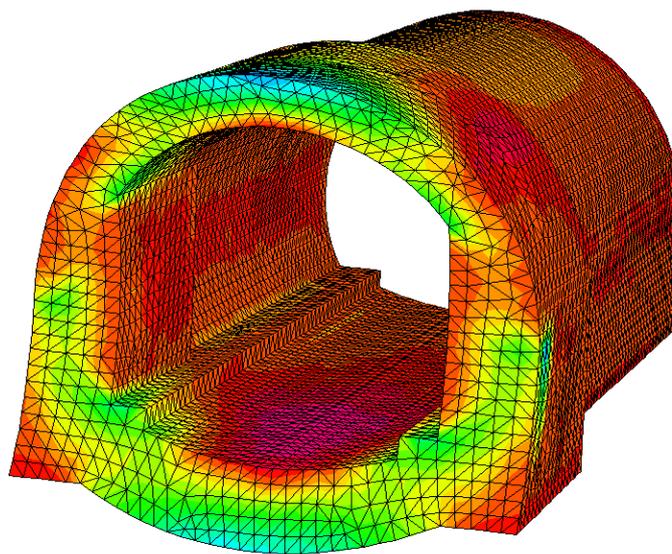


Figura 6.6: Risultati dell'analisi 3D in termini di tensioni longitudinali alla galleria principale (z) – condizioni di SLE.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 24 di 45

VARIANTE

Brick Stress:XX (MPa)
8.95 [Bk:7726,Nd:4807]
6.51
4.07
1.63
-0.81
-3.25
-5.69
-8.13
-10.56
-13.00
-15.44 [Bk:14772,Nd:946]

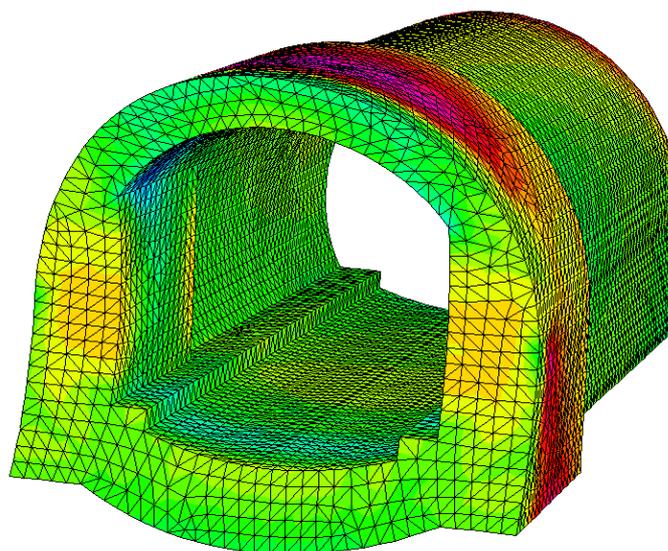


Figura 6.7: Risultati dell'analisi 3D in termini di tensioni trasversali alla galleria principale (x) – condizioni di SLE.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 25 di 45

7. VERIFICHE DEL SOSTEGNO DI PRIMA FASE

Nel presente paragrafo si illustrano i criteri generali di verifica dei sostegni di prima fase. Le verifiche sono state eseguite allo stato limite ultimo (SLU).

Le azioni permanenti utilizzate, sono riferite ai valori caratteristici ottenuti dal modello di calcolo, per cui le successive verifiche sono rapportate al valore del coefficiente parziale di sicurezza delle azioni permanenti $\gamma_G = 1.30$. I valori di calcolo delle resistenze dei materiali si ricavano dividendo ciascun valore caratteristico per il fattore di sicurezza parziale γ_M specifico del materiale considerato (si veda la tabella seguente).

Tabella 7.1: fattore di sicurezza parziale dei materiali.

Stato limite	Acciaio Carpenteria γ_A	Calcestruzzo γ_C
SLU	1.05	1.50

Di seguito si riportano i valori delle resistenze di calcolo, ottenute come rapporto tra la resistenza caratteristica ed il coefficiente γ_M : $f_d = f_k / \gamma_M$

Tabella 7.2: tensione di snervamento di calcolo centine.

Acciaio	f_{yk} [MPa]	f_{yd} [MPa]
S275	275	261.9

Tabella 7.3: resistenze di calcolo calcestruzzo.

Cls proiettato - Classe	f_{cd} [MPa]
C25/30*	16.7

*resistenza media su carote ($h/\phi = 1$) a 28 gg ≥ 30 MPa

dove:

f_{cd} resistenza a compressione cilindrica di calcolo

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 26 di 45

7.1 Verifiche strutturali

Le verifiche sono state condotte, sulla base dell'inviluppo delle sollecitazioni, secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. Vengono effettuate le seguenti verifiche in condizioni statiche (verifiche temporanee strutturali del sostegno in calcestruzzo proiettato e delle centine):

- Verifica a S.L.U. a pressoflessione;
- Verifica a S.L.U. a taglio;

Nella valutazione delle f_{cd} , considerato la transitorietà del prerivestimento, si trascura la riduzione per effetto dei carichi di lunga durata ($=0.85 \cdot f_{cd}$).

Si precisa che, se non è possibile applicare i coefficienti parziali (γ_F) alle azioni, essi sono applicati direttamente agli effetti delle azioni.

Inoltre, a favore di sicurezza, ai fini delle verifiche a taglio si considerano come elementi resistenti le sole centine metalliche del sostegno di prima fase. In tali sezioni si esegue la verifica a taglio, confrontando il taglio massimo agente con la resistenza a taglio di calcolo $V_{c,Rd}$, che è data dalla seguente espressione:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Dove:

A_v è l'area resistente a taglio che per profilati ad I, caricati nel piano delle ali, vale:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

essendo:

A: area della sezione;

b: larghezza delle ali dei profilati;

r: raggio di raccordo tra anima e ala;

t_f : spessore delle ali;

t_w : spessore dell'anima.

La verifica è soddisfatta quando l'azione tagliante di calcolo $V_{Ed} > V_{c,Rd}$.

Le verifiche riportate nel seguito sono state effettuate considerando i valori massimi delle sollecitazioni, agenti in una sezione avente spessore pari a quello equivalente: s_{eq} .

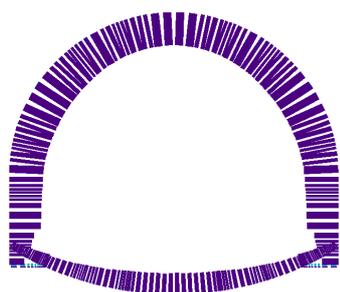
Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 27 di 45

7.2 Sollecitazioni e verifiche per la sezione tipo Bypass carrabile_ sezione corrente

Gli schemi seguenti mostrano l'andamento dello sforzo normale, del momento flettente e dello sforzo di taglio agenti nel sostegno di prima fase della sezione in oggetto.

Il sostegno di prima fase è costituito da centine HEB300 a passo 0.7m, con cls proiettato di spessore 35cm.

Tabella 7.4: Sollecitazioni sul sostegno di prima fase, situazione lontano dal fronte (Fase 13). ($M > 0$, trazione in intradosso).



$$N_{k,max} = 3854 \text{ kN}$$

$$M_k = -332 \text{ kNm}$$

$$N_u = 5212.8 \text{ kN}$$

$$M_u = -719.6 \text{ kNm}$$

$$FS_{min} = 1.35 > 1.3$$



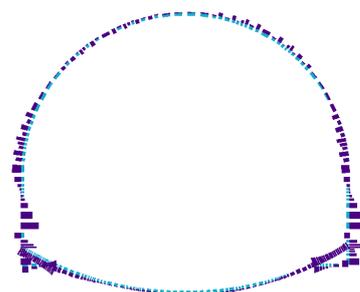
$$N_k = 1378 \text{ kN}$$

$$M_{k,max} = 732 \text{ kNm}$$

$$N_u = 1995.9 \text{ kN}$$

$$M_u = 1060.2 \text{ kNm}$$

$$FS_{min} = 1.44 > 1.3$$



$$T_{k,max} = 631 \text{ kN}$$

$$T_{R,max} = 844.5 \text{ kN}$$

$$F_S = 1.34 > 1.3$$

Per la verifica a taglio si considera reagente la sola sezione del profilato in acciaio.

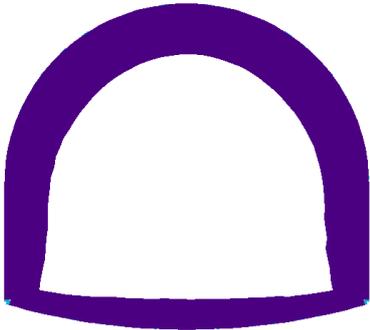
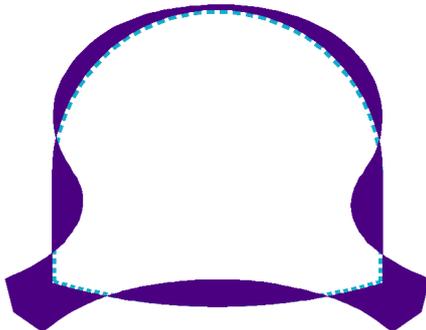
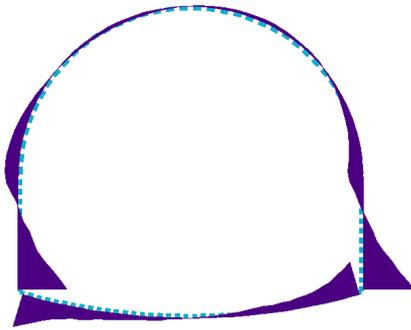
Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 28 di 45

7.3 Sollecitazioni e verifiche per la sezione tipo Bypass carrabile_sezione d'attacco (portale)

Gli schemi seguenti mostrano l'andamento dello sforzo normale, del momento flettente e dello sforzo di taglio agenti nel sostegno di prima fase della sezione in oggetto.

Il sostegno di prima fase è costituito da centine HEB300 a passo 0.5m, con cls proiettato di spessore 35cm.

Tabella 7.5: Sollecitazioni sul sostegno di prima fase_sezione d'attacco (portale), situazione lontano dal fronte (Fase 13). ($M > 0$, trazione in intradosso).

		
$N_{k,max} = 2718.8 \text{ kN}$ $M_k = -237.7 \text{ kNm}$	$N_k = 1070.2 \text{ kN}$ $M_{k,max} = -703.8 \text{ kNm}$	$T_{k,max} = 843 \text{ kN}$ $T_{R,max} = 1104 \text{ kN}$
$N_u = 6754.9 \text{ kN}$ $M_u = -590.6 \text{ kNm}$ $FS_{min} = 2.5 > 1.3$	$N_u = 1650.7 \text{ kN}$ $M_u = -1085.5 \text{ kNm}$ $FS_{min} = 1.5 > 1.3$	$F_S = 1.31 > 1.3$

Per la verifica a taglio si considera reagente la sola sezione del profilato in acciaio.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 29 di 45

8. VERIFICHE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

8.1 Criteri di verifica ed azioni di calcolo

Nel presente paragrafo si illustrano i criteri generali di verifica del rivestimento definitivo delle sezioni tipo esaminate. Le verifiche sono state eseguite allo stato limite ultimo (SLU) ed allo SLE. Nei successivi capitoli verranno sintetizzate tramite tabelle esplicative.

8.2 Resistenze di calcolo

I valori di calcolo delle resistenze dei materiali si ricavano dividendo ciascun valore caratteristico per il fattore di sicurezza parziale γ_m specifico del materiale considerato (vedi tabella seguente).

Tabella 8.1: fattore di sicurezza parziale dei materiali.

Stato limite	Acciaio γ_s	Calcestruzzo γ_c
SLU	1.15	1.50

Di seguito si riportano i valori delle resistenze di calcolo, ottenute come rapporto tra la resistenza caratteristica ed il coefficiente γ_m : $f_d = f_k/\gamma_m$

Tabella 8.2: tensione di snervamento di calcolo.

Acciaio	f_{yd} [MPa]
B450C	391

Tabella 8.3: resistenze di calcolo calcestruzzo.

Classe calcestruzzo	f_{cd} [MPa]
C32/40	18.13
C35/45	19.83

dove:

f_{cd} = resistenza a compressione cilindrica di calcolo,

8.3 Verifiche strutturali

Le verifiche sono state condotte, sulla base dell'involuppo delle sollecitazioni, secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limite.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 30 di 45

Vengono effettuate le seguenti verifiche:

- in condizioni statiche (condizioni di normale esercizio):
 - Verifica a S.L.U. per flessione;
 - Verifica a S.L.U. per taglio;
 - Verifica a S.L.E delle tensioni indotte nel calcestruzzo e nell'armatura metallica: conformemente alla normativa di riferimento, i valori limite sono pari a:
 - calcestruzzo: $\sigma_{c \max} = 0.45f_{ck}$
 - acciaio: $\sigma_{s \max} = 0.8f_{yk}$
 - Verifica a S.L.E per fessurazione (senza calcolo diretto dove applicabile).

Si precisa che, se non è possibile applicare i coefficienti parziali alle azioni, essi sono applicati direttamente agli effetti delle azioni. Il coefficiente parziale γ_F viene applicato come coefficiente globale sugli effetti delle azioni.

<i>Cod. elab.:</i> 125GN204GN02ZCL487A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	<i>Data:</i> Aprile 2018
<i>Nome file:</i> v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	<i>Pagina</i> 31 di 45

8.4 Sollecitazioni agenti

Nella tabella seguente si riportano, per le condizioni più gravose, le sollecitazioni sul rivestimento definitivo del bypass carrabile, nelle sezioni corrente e di attacco (portale).

Tabella 8.4: sezioni di verifica e sollecitazioni sul rivestimento definitivo per la sezione tipo bypass carrabile – sezione corrente.

SEZIONE	Altezza sezione [cm]	CONDIZIONE DI CARICO	N [kN/m]	M [kNm/m]	T [kN/m]
1	60	Lungo termine	3458	46	4
2	60	Lungo termine	3697	78	115
3	60	Lungo termine	3962	-39	162
4	60	Lungo termine	3979	85	30
5	60	Lungo termine	3888	-106	172
6	64	Lungo termine	3427	-15	232
7	86	Lungo termine	3438	-239	255
8	70	Lungo termine	2077	-281	989
9	70	Lungo termine	1680	490	506
10	70	Lungo termine	1489	881	139
11	70	Lungo termine	1764	890	53
12	70	Lungo termine	1405	885	151
13	70	Lungo termine	1762	468	508
14	70	Lungo termine	2076	-266	964
15	86	Lungo termine	3434	-223	235
16	64	Lungo termine	3510	-6	225
17	60	Lungo termine	3872	-115	161
18	60	Lungo termine	3967	-88	29
19	60	Lungo termine	3948	-39	166
20	60	Lungo termine	3696	84	112

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 32 di 45

VARIANTE

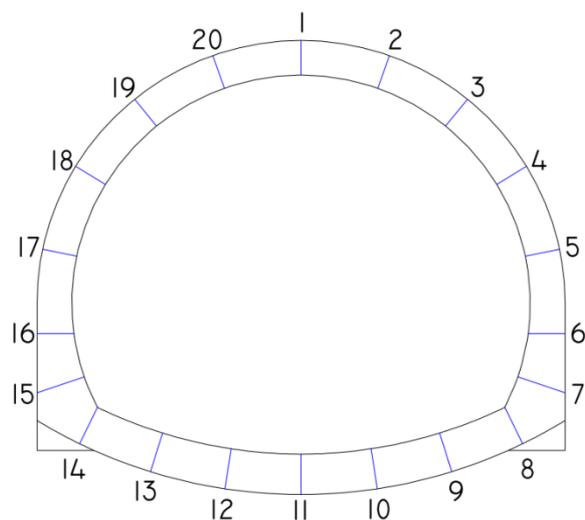


Figura 8.1: sezioni di verifica lungo il rivestimento definitivo della sezione tipo bypass carrabile_sezione corrente.

Tabella 8.5: sezioni di verifica e sollecitazioni sul rivestimento definitivo per la sezione tipo bypass carrabile – sezione portale.

SEZIONE	Altezza sezione [cm]	CONDIZIONE DI CARICO	N [kN]	M _{long} [kNm]	M _{trasv} [kNm]	T [kN]
1	431	Lungo termine	54826	56682	2394	3632
2	105	Lungo termine	17563	8783	33414	325
3	140	Lungo termine	24233	12680	37764	147
4	156	Lungo termine	17044	6679	24167	19613
5	105	Lungo termine	834	2336	192	582
6	221	Lungo termine	20477	17609	2822	24476
7	60	Lungo termine	374	65	-	140

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 33 di 45

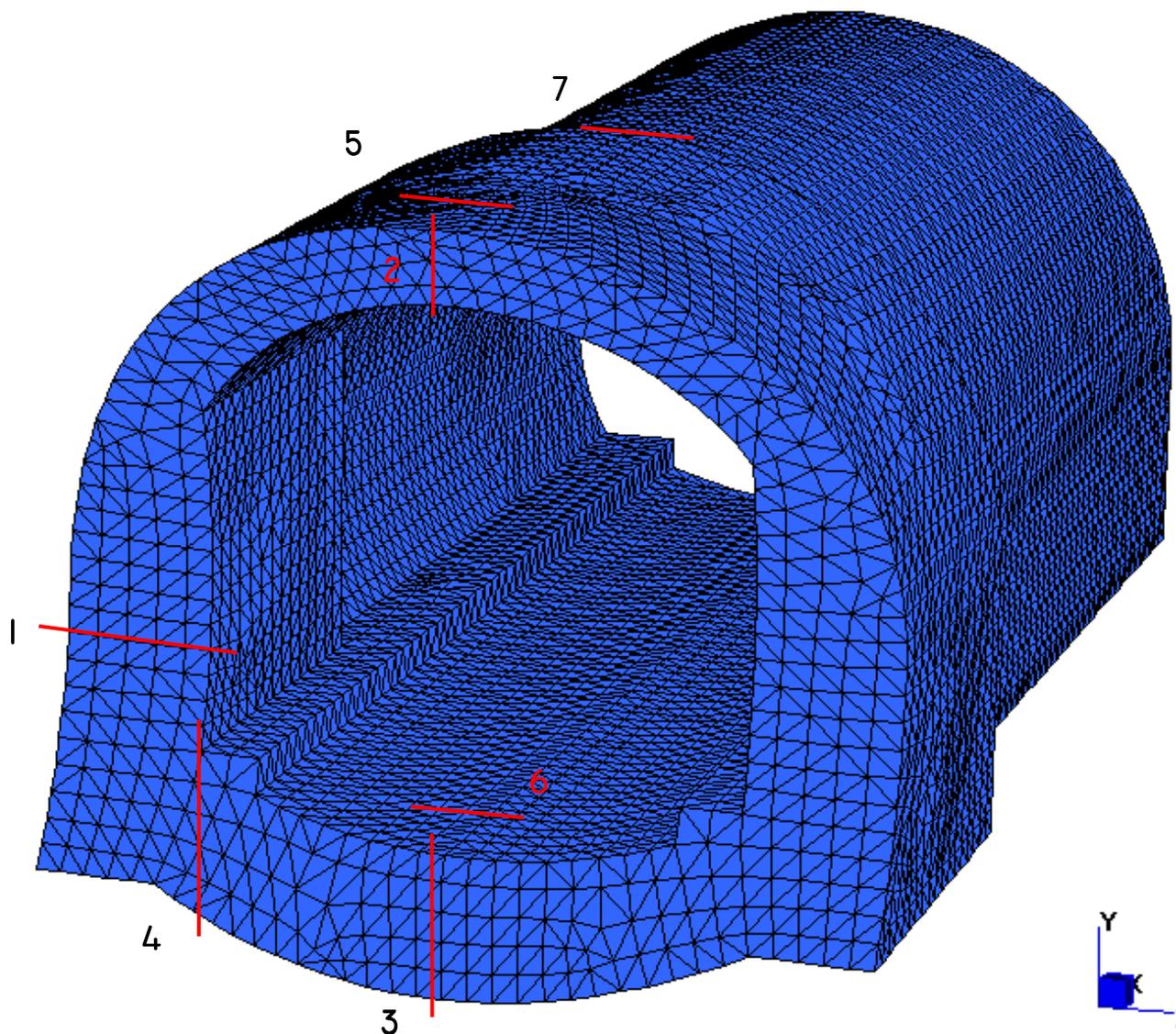


Figura 8.2: sezioni di verifica lungo il rivestimento definitivo della sezione tipo bypass carrabile_sezione d'attacco (portale).

Nelle pagine seguenti si riporta le verifiche maggiormente significative e più gravose.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 34 di 45

VARIANTE

Tabella 8.6: sezione tipo bypass carrabile_sezione corrente – Armatura.

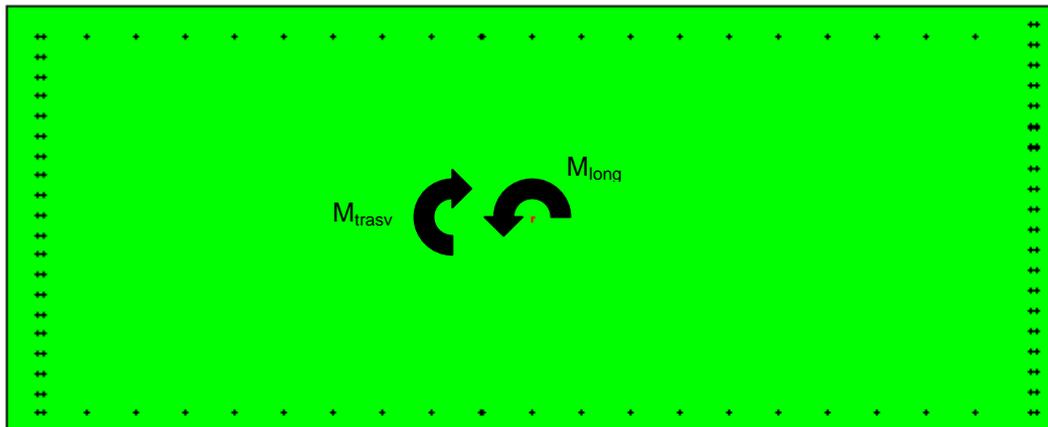
Sezione	Altezza sezione [cm]	Armatura intradosso	Armatura estradosso	Classe cls
1	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
2	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
3	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
4	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
5	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
6	64	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
7	86	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
8	70	10φ26/m	10φ26/m	C32/40
9	70	10φ26/m	10φ26/m	C32/40
10	70	10φ26/m	10φ26/m	C32/40
11	70	10φ26/m	10φ26/m	C32/40
12	70	10φ26/m	10φ26/m	C32/40
13	70	10φ26/m	10φ26/m	C32/40
14	70	10φ26/m	10φ26/m	C32/40
15	86	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
16	64	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
17	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
18	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
19	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40
20	60	5φ26/m	5φ26/m	C32/40

Nelle figure seguenti è riportata l'armatura delle sezioni di verifica del portale.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 35 di 45

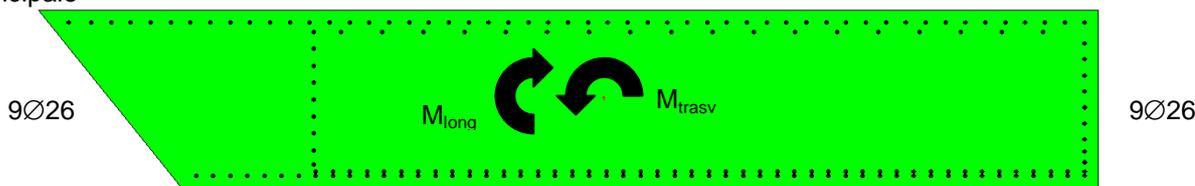
VARIANTE

Sezione 1 – Dimensioni 425 cm x 176cm (solo armatura corrente)
 lato galleria principale $\varnothing 26/15$ lato by-pass



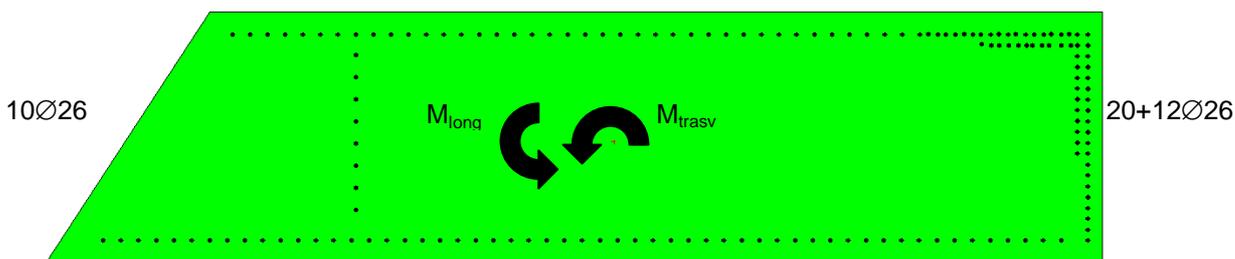
4x10 $\varnothing 26$ $\varnothing 26/15$ 4x10 $\varnothing 26$
 calcestruzzo C35/45

Sezione 2 – Dimensioni 615cm x 105cm
 lato galleria principale 53+26 $\varnothing 26$ lato by-pass



53+53 $\varnothing 26$
 calcestruzzo C35/45

Sezione 3 – Dimensioni 584cm x 140cm
 lato galleria principale $\varnothing 26/10$ lato by-pass

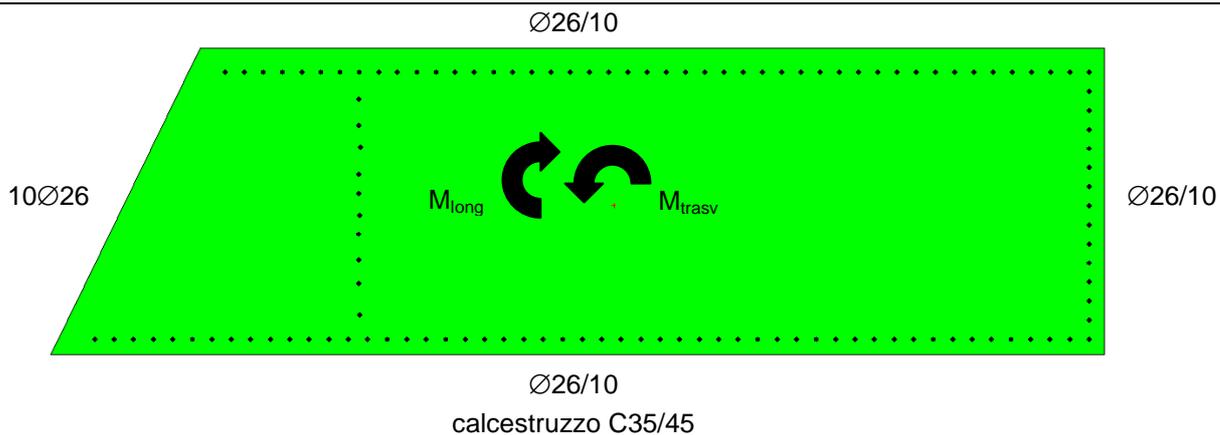


$\varnothing 26/10$
 calcestruzzo C35/45

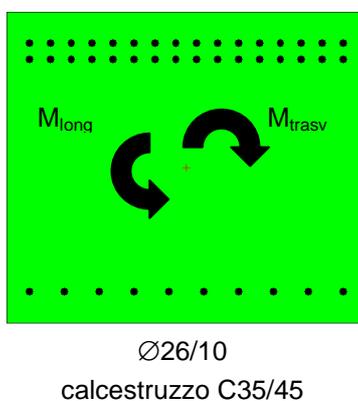
Sezione 4 – Dimensioni 536cm x 156cm
 lato galleria principale lato by-pass

lato galleria principale Cod. cub.: I25GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass carr.		Pagina 36 di 45

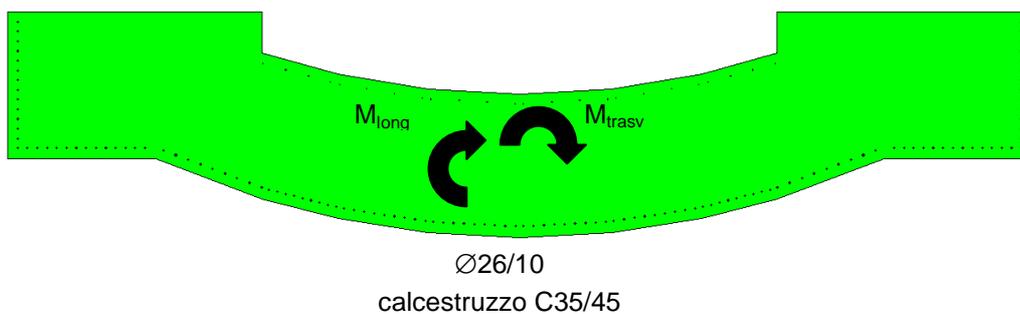
VARIANTE



Sezione 5 – Dimensioni 120cm x 105cm
 1+1Ø26/7.5



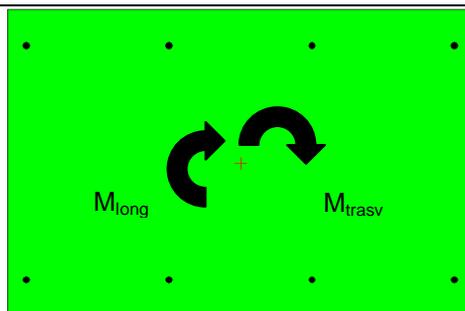
Sezione 6 – Dimensioni 1000cm x 221cm (solo armature corrente)
 a favore di sicurezza si considera per l'armatura sup. Ø26/20



Sezione 7 – Dimensioni 90cm x 60cm
 Ø14/25

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 37 di 45

VARIANTE



Ø14/25
 calcestruzzo C32/40

Figura 8.3: armatura del portale del bypass carrabile.

8.5 Verifiche strutturali

Per le verifiche allo stato limite ultimo si verifica che il fattore di sicurezza F_{Su} , definito come M_u/M , sia maggiore di 1.30.

Tabella 8.7: verifica S.L.U. pressoflessione per bypass carrabile_sezione corrente (N+ compressione; M+ fibre tese intradosso)

Sezione	Altezza sezione [cm]	Condizione di carico	N [kN/m]	M [kNm/m]	M_u [kNm/m]	F_{Su}
1	60	Lungo termine	3458	46	168	3.7
2	60	Lungo termine	3697	78	257	3.3
3	60	Lungo termine	3962	-39	-126	3.2
4	60	Lungo termine	3979	85	261	3.1
5	60	Lungo termine	3888	-106	-325	3.1
6	64	Lungo termine	3427	-15	-57	3.8
7	86	Lungo termine	3438	-239	-752	3.1
8	70	Lungo termine	2077	-281	-1935	>5
9	70	Lungo termine	1680	490	2058	4.2
10	70	Lungo termine	1489	881	1521	1.7
11	70	Lungo termine	1764	890	1589	1.8
12	70	Lungo termine	1405	885	1525	1.7
13	70	Lungo termine	1762	468	1588	3.4
14	70	Lungo termine	2076	-266	-1444	>5
15	86	Lungo termine	3434	-223	-985	4.4
16	64	Lungo termine	3510	-6	-24	4.0
17	60	Lungo termine	3872	-115	-350	3.0
18	60	Lungo termine	3967	-88	-270	3.1

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 38 di 45

VARIANTE

Sezione	Altezza sezione [cm]	Condizione di carico	N [kN/m]	M [kNm/m]	M _u [kNm/m]	F _{Su}
19	60	Lungo termine	3948	-39	-127	3.3
20	60	Lungo termine	3696	84	275	3.3

dove:

- N = sforzo normale da modello di calcolo (positivo di compressione)
 M = momento flettente da modello di calcolo (positivo tende le fibre in intradosso)
 M_u = momento ultimo di rottura

Dalla tabella precedente si nota il soddisfacimento del requisito minimo per la sicurezza.

Tabella 8.8: verifica S.L.U. pressoflessione per bypass carrabile_sezione portale (N+ compressione)

Sezione	Altezza sezione [cm]	Condizione di carico	N [kN]	M _{long} [kNm]	M _{trasv} [kNm]	M _u [kNm]	F _{Su}
1	431	Lungo termine	54826	56682	2394	107328/4533	1.9
2	105	Lungo termine	17563	8783	33414	21966/83566	2.5
3	140	Lungo termine	24233	12680	37764	31659/94288	2.5
4	156	Lungo termine	17044	6679	24167	23644/85552	3.54
5	105	Lungo termine	834	2336	192	6022/495	2.6
6	221	Lungo termine	20477	17609	2822	75464/12094	4.3
7	60	Lungo termine	374	65	-	941	>5.0

dove:

- N = sforzo normale da modello di calcolo (positivo di compressione)
 M = momento flettente da modello di calcolo
 M_u = momento ultimo di rottura (riportato per entrambe le direzioni)

Dalla tabella precedente si nota il soddisfacimento del requisito minimo per la sicurezza.

In merito allo SLE di fessurazione le verifiche potrebbero essere omesse in quanto il rivestimento definitivo è protetto dall'impermeabilizzazione e non aggredito quindi dall'acqua. Si fa presente che l'impermeabilizzazione è presente anche in arco rovescio in quanto lo scavo avviene con la centina-puntone.

Ad ogni modo per completezza si riportano le verifiche allo SLE, le quali comunque danno informazioni sulle tensioni presenti in esercizio nelle armature.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 39 di 45

VARIANTE

Le verifiche allo S.L.E. risultano soddisfatte quando l'ampiezza delle fessure $w < 0.3\text{mm}^1$ (la verifica è condotta senza calcolo diretto dove possibile, tab. C4.1.II), la tensione massima nel calcestruzzo $\sigma_{c\text{ max}} \leq 0.45f_{ck}$ e la tensione massima nell'acciaio $\sigma_{s\text{ max}} \leq 0.8f_{yk}$.

Tabella 8.9: verifiche S.L.E per bypass carrabile_sezione corrente (N+ compressione; M+ fibre tese intradosso).

Sezione	Altezza sezione [cm]	Condizione di carico	N [kN/m]	M [kNm/m]	$\sigma_{c\text{ max}}$ [N/mm ²]	$\sigma_{s\text{ max}}$ [N/mm ²]	M_{fess} [kNm/m]	w [mm]
1	60	Lungo termine	3458	46	5.7	69.4	-	-
2	60	Lungo termine	3697	78	6.5	69.9	-	-
3	60	Lungo termine	3962	-39	6.4	81.9	-	-
4	60	Lungo termine	3979	85	7.0	75.7	-	-
5	60	Lungo termine	3888	-406	7.2	70.6	-	-
6	64	Lungo termine	3427	-15	5.2	73.6	-	-
7	86	Lungo termine	3438	-239	7.7	40.5	-	-
8	70	Lungo termine	2077	-281	3.7	10.7	-	-
9	70	Lungo termine	1680	490	7.1	-47.1	441	-
10	70	Lungo termine	1489	881	12.1	-187.1	313	0.295
11	70	Lungo termine	1764	890	12.4	-169.3	329	-
12	70	Lungo termine	1405	885	12.2	-187.3	314	0.296
13	70	Lungo termine	1762	468	6.8	-36.8	479	-
14	70	Lungo termine	2076	-266	4.8	10.0	-	-
15	86	Lungo termine	3434	-223	5.2	36.6	-	-
16	64	Lungo termine	3510	-6	4.9	72.5	-	-
17	60	Lungo termine	3872	-115	7.3	68.9	-	-
18	60	Lungo termine	3967	-88	7.0	74.9	-	-
19	60	Lungo termine	3948	-39	6.3	81.7	-	-
20	60	Lungo termine	3696	84	6.6	69.0	-	-

dove:

$\sigma_{c\text{ max}}$ = tensione massima nel calcestruzzo (positivo di compressione)

$\sigma_{s\text{ max}}$ = tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio (positivo di compressione)

N = sforzo normale da modello di calcolo (positivo di compressione)

M = momento flettente da modello di calcolo (positivo tende le fibre in intradosso)

w = ampiezza delle fessure, non riportata quando la trazione nell'acciaio $\sigma_{s,\text{max}} < 180\text{MPa}$

M_{fess} = momento di prima fessurazione

Le verifiche in esercizio risultano soddisfatte.

¹ Nel caso specifico le condizioni ambientali risultano ordinarie, con armature poco sensibili. A favore di sicurezza l'apertura massima di riferimento è presa pari a 0.3mm (tab. 4.1.IV delle NTC2008) a fronte dell'equivalenza tra le combinazioni delle azioni (rif. paragrafo 2.5.3 delle NTC2008)

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 40 di 45

VARIANTE

Tabella 8.10: verifiche S.L.E per bypass carrabile_sezione portale (N+ compressione).

Sezione	Altezza sezione [cm]	Condizione di carico	N [kN]	M _{long} [kNm]	M _{trasv} [kNm]	σ _{c max} [N/mm ²]	σ _{s max} [N/mm ²]	M _{fess} [kNm/m]	w [mm]
1	431	Lungo termine	54826	56682	2394	14.86	-53.32	47405/2002	-
2	105	Lungo termine	17563	8783	33414	15.08	-165.31	2909/11065	-
3	140	Lungo termine	24233	12680	37764	15.11	-140.85	4609/13727	-
4	156	Lungo termine	17044	6679	24167	10.18	-124.12	3574/12930	-
5	105	Lungo termine	834	2336	192	11.34	-177.60	793/65	-
6	221	Lungo termine	20477	17609	2822	7.32	-98.35	13385/2145	-
7	60	Lungo termine	374	65	-	2.00	-9.25	330	-

dove:

σ_{c max} = tensione massima nel calcestruzzo (positivo di compressione)

σ_{s max} = tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio (positivo di compressione)

N = sforzo normale da modello di calcolo (positivo di compressione)

M = momento flettente da modello di calcolo (positivo tende le fibre in intradosso)

w = ampiezza delle fessure, non riportata quando la trazione nell'acciaio σ_{s,max} < 180MPa

M_{fess} = momento di prima fessurazione

Nel caso di elementi strutturali dotati di armature trasversali a taglio occorre verificare che il taglio di progetto (V_{Ed}) sia minore di V_{Rd}.

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

V_{Rsd} è la resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura trasversale;

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s) \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha;$$

V_{Rcd} è la resistenza di calcolo a "taglio compressione" del calcestruzzo;

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta).$$

Per il significato delle diverse entità si rimanda al paragrafo 4.1.2.1.3.1 del NTC2008.

Dalle tabelle successive si evince il soddisfacimento alla verifica a taglio essendo V_{Ed} ≤ V_{Rd}.

La verifica al taglio è stata svolta prendendo in esame le condizioni più sfavorevoli.

Tabella 8.11: verifica S.L.U. taglio per bypass carrabile_sezione corrente.

Sezione	Altezza sezione [cm]	A _{sw} (bracci)	Condizione di carico	V _k [kN/m]	V _d [kN/m]	V _{Rsd} [kN/m]	V _{Rcd} [kN/m]	V _{Rd} [kN/m]
1	60	1Ø14/50/20	lungo termine	4	5.2	668.2	1387.2	668.2
2	60	1Ø14/50/20	lungo termine	115	149.5	668.2	1387.2	668.2
3	60	1Ø14/50/20	lungo termine	162	210.6	668.2	1387.2	668.2
4	60	1Ø14/50/20	lungo termine	30	39	668.2	1387.2	668.2

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 41 di 45

VARIANTE

Sezione	Altezza sezione [cm]	A _{sw} (bracci)	Condizione di carico	V _k [kN/m]	V _d [kN/m]	V _{Rsd} [kN/m]	V _{Rcd} [kN/m]	V _{Rd} [kN/m]
5	60	1Ø14/50/20	lungo termine	172	223.6	668.2	1387.2	668.2
6	64	1Ø14/50/20	lungo termine	232	301.6	722.4	1499.8	722.4
7	86	1Ø14/50/20	lungo termine	255	331.5	1020.6	2118.6	1020.6
8	70	1Ø14/25/20	lungo termine	989	1285.7	1607.4	1668.6	1607.4
9	70	1Ø14/50/20	lungo termine	506	657.8	803.7	1668.6	803.7
10	70	1Ø14/50/20	lungo termine	139	180.7	803.7	1668.6	803.7
11	70	1Ø14/50/20	lungo termine	53	68.9	803.7	1668.6	803.7
12	70	1Ø14/50/20	lungo termine	151	196.3	803.7	1668.6	803.7
13	70	1Ø14/50/20	lungo termine	508	660.4	803.7	1668.6	803.7
14	70	1Ø14/25/20	lungo termine	964	1253.2	1607.4	1668.6	1607.4
15	86	1Ø14/50/20	lungo termine	235	305.5	1020.6	2118.6	1020.6
16	64	1Ø14/50/20	lungo termine	225	292.5	722.4	1499.8	722.4
17	60	1Ø14/50/20	lungo termine	161	209.3	668.2	1387.2	668.2
18	60	1Ø14/50/20	lungo termine	29	37.7	668.2	1387.2	668.2
19	60	1Ø14/50/20	lungo termine	166	215.8	668.2	1387.2	668.2
20	60	1Ø14/50/20	lungo termine	112	145.6	668.2	1387.2	668.2

dove:

V_d = taglio di calcolo sollecitante ultimo;

A_{sw} = armatura specifica a taglio;

Tabella 8.12: verifica S.L.U. taglio per bypass carrabile_sezione portale.

Sezione	Altezza sezione [cm]	A _{sw} (bracci)	Condizione di carico	V _k [kN/m]	V _d [kN/m]	V _{Rsd} [kN/m]	V _{Rcd} [kN/m]	V _{Rd} [kN/m]
1	431	1Ø14/40/20	lungo termine	3632	4722	11602	30924	11602
2	105	1Ø16/40/15	lungo termine	325	423	13542	22673	13542
3	140	1Ø14/40/20	lungo termine	147	191	12998	29077	12998
4	156	1Ø16/20/20	lungo termine	19613	25497	35210	28449	28449
5	105	1Ø14/40/20	lungo termine	582	757	2074	4183	2074
6	221	1Ø16/37/20	lungo	24476	31819	32740	49035	32740

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.		Pagina 42 di 45

VARIANTE

Sezione	Altezza sezione [cm]	A _{sw} (bracci)	Condizione di carico	V _k [kN/m]	V _d [kN/m]	V _{Rsd} [kN/m]	V _{Rcd} [kN/m]	V _{Rd} [kN/m]
7	60	1Ø14/40/20	lungo termine	140	182	773	1757	773

dove:

V_d = taglio di calcolo sollecitante ultimo;

A_{sw} = armatura specifica a taglio;

Le verifiche al taglio risultano soddisfatte.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 43 di 45

9. STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO

La verifica di stabilità del fronte di scavo è stata condotta in condizioni non drenate. Il metodo utilizzato è quello di Broms e Bennermark (1969) in cui viene definito il rapporto di stabilità N_s secondo la seguente relazione:

$$N_s = \frac{\sigma_s + \gamma(C + \frac{D}{2}) - \sigma_t}{c_u}$$

Dove:

C è la copertura in chiave di calotta

D è il diametro equivalente della galleria

σ_s è la pressione agente in superficie per la presenza di eventuali sovraccarichi

σ_t è la pressione stabilizzante agente a livello della galleria. Tale pressione fittizia è stata valutata a partire dalla resistenza a sfilamento dei VTR presenti al fronte

c_u è la coesione non drenata

Sulla base delle risultanze di diversi casi esaminati dagli Autori, le condizioni di collasso si verificano per valori di $N_s = 6$.

Sempre dalla Letteratura tecnica, sulla base dei diversi valori ottenuti dal rapporto di stabilità, si identificano le condizioni del fronte.

N_s	Deformazioni
<1	trascurabili
1 – 2	elastiche
2 – 4	elasto-plastiche
4 – 6	plastiche
>6	collasso

Applicando i valori al caso specifico, e considerando che la copertura non è quella totale, ma quella valutata a partire dalla relazione di Terzaghi (parametro B della relazione di Terzaghi),

$$B = b + 2 \cdot h \cdot \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right): \text{dimensione caratteristica della galleria}$$

si ottiene un valore del rapporto di stabilità di: $N_s=2.19$, pertanto il fronte risulta stabile (<6) e al fronte si svilupperanno deformazioni elasto-plastiche.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZCL487A	Titolo: Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	Data: Aprile 2018
Nome file: v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	Pagina 44 di 45

10. MONITORAGGIO

In conformità a quanto previsto dalla normativa vigente, il monitoraggio geotecnico degli scavi costituisce parte integrante del progetto geotecnico e strutturale delle opere di sostegno degli scavi.

In particolare, si prevede di monitorare gli spostamenti radiali della galleria mediante l'installazione di n°5 mire ottiche disposte sul contorno dello scavo. Per una accurata definizione degli spostamenti attesi, è necessario che l'installazione delle mire avvenga contemporaneamente alla posa in opera del sostegno di prima fase.

I valori attesi dello spostamento radiale sono quelli indicati nelle Tabella 6.3 e Tabella 6.5 a seconda della tratta in cui ricade la sezione di monitoraggio.

Nel caso di anomalie nell'andamento delle deformazioni, con valori misurati superiori ai valori attesi, è necessario che ne venga data immediata comunicazione alla Direzione Lavori e al Progettista al fine di valutare in accordo le misure da attuarsi.

<i>Cod. elab.:</i> 125GN204GN02ZCL487A	<i>Titolo:</i> Opere D'Arte Maggiori – GN Caltanissetta	<i>Data:</i> Aprile 2018
<i>Nome file:</i> v_3596-13 rel. di calc. by-pass Carr.	Relazione di calcolo dei bypass carrabili.	<i>Pagina</i> 45 di 45