

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78

S.G.C. GROSSETO - FANO

Adeguamento a 4 Corsie nel Tratto Grosseto - Siena

(S.S. 223 "DI PAGANICO") dal Km 27+200 al Km 30+038 - Lotto 4

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI13**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Davide Carlaccini
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A1245

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL R.U.P.

Dott. Ing.
Antonio Scalamandrè

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Arch. N.Kamenicky
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Geol. G.Cerquiglini
Geom. S.Scopetta
Dott.Ing. L.Sbrenna
Dott.Ing. E.Sellari
Dott.Ing. L.Stoppini
Dott.Ing. L.Dinelli
Dott.Ing. L.Nani
Dott.Ing. F.Pambianco
Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. G.Cordua
Dott. Ing. V.De Gori

Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Dott. Ing. M.Sorbelli
Dott. Ing. V.Piunno
Dott. Ing. G.Pulli



OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIE NATURALI

GALLERIA POGGIO TONDO ASSE DESTRO

Relazione di calcolo

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L0702B E 1701

NOME FILE

T00-GN01-OST-RE02-A

CODICE ELAB.

T00GN01OSTRE02

REVISIONE

SCALA:

A

-

A

Emissione

16/10/2017

S.Sacconi

D.Carlaccini

N.Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	6
5. MODELLO GEOTECNICO.....	8
6. ANALISI DI STABILITÀ DEL FRONTE	9
6.1 ANALISI ZONA DI IMBOCCO LATO SUD.....	10
6.2 ANALISI ZONA DI FAGLIA	11
6.3 ANALISI ZONA DI MASSIMA COPERTURA.....	12
6.4 ANALISI ZONA DI IMBOCCO LATO NORD	13
7. DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO.....	15
7.1 SEZIONE TIPO A1	15
7.2 SEZIONE TIPO A2	15
7.3 SEZIONE TIPO B1.....	16
7.4 SEZIONE TIPO B2.....	16
8. ANALISI DI INTERAZIONE STRUTTURE-TERRENO.....	17
8.1 IMPOSTAZIONE DELLE ANALISI NUMERICHE.....	17
8.2 SEZIONE TIPO A1	17
8.3 SEZIONE TIPO A2	20
9. VERIFICHE STRUTTURALI	25
9.1 CRITERI DI VERIFICA	25
9.2 VERIFICA SEZIONE TIPO A1.....	27

9.2.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton).....	27
9.2.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)	27
9.2.3 Rivestimento definitivo (calotta)	29
9.3 VERIFICA SEZIONE TIPO A2.....	30
9.3.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton).....	30
9.3.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)	31
9.3.3 Rivestimento definitivo (calotta)	32
10. MONITORAGGIO.....	34
11. TABULATI DI INPUT FLAC 5.0.....	35
11.1 SEZIONE TIPO A1	35
11.2 SEZIONE TIPO A2	45

1. PREMESSA

Nella presente relazione vengono descritte le problematiche progettuali e gli aspetti tecnici nell'ambito del Progetto Esecutivo della galleria naturale Poggio Tondo, asse destro, facente parte dell'Itinerario Internazionale E78 S.G.C. Grosseto – Fano, adeguamento a 4 corsie nel tratto Grosseto – Siena (S.S 223 di Paganico) dal km 27+200 al km 30+080 – Lotto 4.

In particolare di seguito è riportata una descrizione generale dell'opera, la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso interessato dallo scavo e i relativi parametri di resistenza e di deformabilità distinti per zone omogenee, le sezioni tipo previste per l'avanzamento dello scavo e le analisi numeriche alle differenze finite per la verifica degli interventi previsti.

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria naturale in oggetto misura 406 m, compresa tra le progressive pk 1+801.05 e pk 2+207.05. Le dime ai due imbocchi (sud lato Grosseto e nord lato Siena) hanno una lunghezza pari a 5 m metri ciascuna, rispettivamente tra le progressive pk 1+796.05 e pk 2+212.05.

Poiché il tracciato appartiene alla categoria delle strade extraurbane principali, la sezione adottata è di tipo B, secondo il D.M. 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". La carreggiata tipo è costituita da due corsie di larghezza pari a 3.75 m ciascuna, una banchina in destra di larghezza 1.75 m e una banchina in sinistra di larghezza 0.50 m. Visto che la galleria è in curva, sul lato sinistro è previsto un allargamento per visibilità di ampiezza massima pari a 0.9 m.

La sagoma tipo della galleria presenta una geometria policentrica; laddove la sezione è cilindrica, l'area di scavo è pari a circa 150 mq; agli imbocchi, dove è previsto l'utilizzo di sezioni troncoconiche, l'area di scavo è compresa tra 150 e 170 mq circa, rispettivamente per la sezione di scavo minima e massima.

L'avanzamento in sotterraneo viene realizzato con tecnica di scavo tradizionale, a piena sezione con sfondi di ridotta profondità (1.00 m/1.25 m); dopo ogni singolo sfondo è prevista l'esecuzione del rivestimento di prima fase costituito da centine e *spritz-beton* fibrorinforzato.

Lo scavo a piena sezione è preceduto da eventuali interventi di pre-consolidamento del fronte; a distanza dal fronte di scavo si procede al getto del rivestimento definitivo di arco rovescio e murette al fine di contrastare il piede del rivestimento di prima fase, e al getto del rivestimento definitivo di calotta. A tergo del rivestimento definitivo di calotta è prevista la posa in opera dell'impermeabilizzazione, mentre su ciascun piedritto è disposto un tubo micro fessurato per il drenaggio e lo smaltimento delle acque eventualmente presenti nell'ammasso.

3. **NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

Nel progetto è stato fatto riferimento alle seguenti Normative ed Istruzioni:

- D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (pubblicato sulla G.U. n. 29 – Suppl. Ordinario n. 30 – del 4 febbraio 2008).
- Circolare 02/02/2009 "Istruzione C.S.LL.PP. per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008.
- Decreto Ministero Lavori Pubblici 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 Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/09/1988 – D.M. 11.3.88. "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."

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

SPRITZ BETON

C 25/30

Proprietà a completa maturazione

Resistenza caratteristica cubica a compressione

$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Resistenza cilindrica media a compressione

$f_{cm} = 33 \text{ MPa}$

Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

$\alpha_{cc} = 1.0$

Coefficiente parziale di sicurezza

$\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione

$f_{cd} = 16.6 \text{ MPa}$

Modulo elastico

$E_{cm} = 31476 \text{ MPa}$

CALCESTRUZZO STRUTTURALE

C 25/30

Proprietà a completa maturazione

Resistenza caratteristica cubica a compressione

$R_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Resistenza cilindrica media a compressione

$f_{cm} = 33 \text{ MPa}$

Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

$\alpha_{cc} = 0.85$

Coefficiente parziale di sicurezza

$\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione

$f_{cd} = 14.2 \text{ MPa}$

Modulo elastico

$E_{cm} = 31476 \text{ MPa}$

Classe di esposizione

XC2 (UNI 206-1)

ACCIAIO DA CARPENTERIA

S275 (UNI EN 10025-2)

Tensione caratteristica a rottura

$f_{tk} = 430 \text{ MPa}$

Tensione caratteristica a snervamento

$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$

Coefficiente parziale per verifiche di resistenza

$\gamma_{M0} = 1.05$

Coefficiente parziale per verifiche di stabilità

$\gamma_{M1} = 1.05$

Tensione di snervamento per verifiche di resistenza

$f_{yd} = 261.90 \text{ MPa}$

Tensione di snervamento per verifiche di stabilità

$f_{yd} = 261.90 \text{ MPa}$

Modulo elastico

$E_s = 210000 \text{ MPa}$

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

B450C

Tensione caratteristica di rottura nominale

$f_{t \text{ nom}} = 540 \text{ MPa}$

Tensione caratteristica di snervamento nominale

$f_{k \text{ nom}} = 450 \text{ MPa}$

Coefficiente parziale di snervamento

$\gamma_s = 1.15$

Tensione di calcolo di snervamento
Modulo elastico

$f_{yk} = 391.30 \text{ MPa}$
 $E_s = 210000 \text{ MPa}$

5. MODELLO GEOTECNICO

Lo scavo della galleria avviene per la quasi totalità nell'unità geotecnica A (formazione geologica del Verrucano, cfr. Relazione geologica e Relazione geotecnica della galleria). Solo all'imbocco nord, lato Siena, lo scavo interesserà l'unità geotecnica B. Sulla base dell'interpretazione dei dati di indagine disponibili, il tracciato della galleria è stato, pertanto, suddiviso in zone geotecnicamente omogenee. In particolare, sono state individuate una zona di massima copertura, dove l'ammasso roccioso presenta le migliori caratteristiche meccaniche lungo il tracciato, due zone di faglia, dove il materiale sarà realisticamente più fratturato e scadente, una zona di bassa copertura corrispondente all'imbocco sud (lato Grosseto) e una zona per l'imbocco nord lato Siena dove si è ipotizzato che lo scavo avvenga all'interno della formazione dei terreni sciolti superficiali.

Nella Tabella 1 si riepiloga il modello geotecnico per le tratte omogenee appena descritte:

Tabella 1: Modello geotecnico.

Zona	Unità geotecnica	GSI	Copertura (m)	c' (kPa)	φ' (°)	E' (MPa)
Massima copertura	B	40	48	240	35.6	2000
Massima copertura		40	16	137	42.9	2000
Bassa-media copertura, imbocco sud	B	35	23	98	29	860
Bassa-media copertura, imbocco sud		35	11	70	33	860
Faglia	B faglia	20	20	55	21.5	450
Faglia		20	5	31	27.3	450
Bassa copertura, imbocco nord	A	-	-	30	28	40-50

Per tutti i dettagli sulla caratterizzazione dei litotipi presenti e sui parametri geotecnici del modello adottato si faccia riferimento alla Relazione geotecnica generale (T00-GE00-GET-RE00-A) e più in particolare alla Relazione geotecnica della galleria (T00-GN01-OST-RE01-A).

6. ANALISI DI STABILITÀ DEL FRONTE

Al fine di determinare il comportamento atteso al fronte di scavo sono state eseguite delle analisi di stabilità applicando soluzioni derivanti dai teoremi dell'analisi limite; in particolare si è fatto riferimento ai teoremi dell'estremo inferiore. Tali metodi forniscono come risultato una pressione di stabilizzazione q_t da applicare in galleria affinché il fronte di scavo si trovi in condizioni di stabilità limite. Se il valore della pressione di stabilizzazione è negativo o nullo il fronte è stabile, se il valore è positivo il fronte risulta instabile, quindi è necessario prevedere interventi di pre-consolidamento che forniscano una pressione al fronte tale da riportare il cavo in condizioni di stabilità con gli opportuni coefficienti di sicurezza.

Le condizioni statiche della galleria possono essere espresse in funzione di 4 fattori adimensionali:

$$\frac{q_t + c \cdot \cot \varphi}{\gamma \cdot a};$$

$$N = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi};$$

$$\frac{q_s + c \cdot \cot \varphi}{\gamma \cdot a};$$

$$\frac{H}{a};$$

dove:

- H è la copertura valutata rispetto al centro della sezione di scavo;
- a è il raggio della sezione di scavo;
- c è la coesione;
- φ è l'angolo d'attrito;
- N è il coefficiente di spinta passiva;
- γ è il peso dell'unità di volume del materiale di scavo;
- q_s è l'eventuale sovraccarico applicato in superficie;
- q_t è la pressione di stabilizzazione.

Linearizzando il dominio plastico, la pressione di stabilizzazione in galleria in condizioni limite può essere espressa dalla seguente relazione di tipo lineare:

$$q_t = Q_\gamma \cdot \gamma \cdot a + Q_s \cdot (q + c \cdot \cot \varphi) - c \cdot \cot \varphi$$

in cui Q_γ e Q_s sono fattori adimensionali funzione di φ e H/a .

Già a modeste profondità la pressione di stabilizzazione richiesta raggiunge un valore asintotico, stimabile attraverso la seguente formula:

$$Q_\gamma = \frac{1}{2N+3}$$

Per quanto riguarda il fattore, Q_s , legato all'influenza del sovraccarico in superficie, questo può essere valutato mediante l'espressione seguente:

$$Q_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{N} (a/H)^{(N-1)} \\ (a/H)^{2(N-1)} \end{array} \right\}$$

e diventa trascurabile per valori della copertura pari a 1÷2 diametri.

Un modo razionale di operare (in linea con le NTC 2008) è di assumere che il carico di stabilizzazione q_t da utilizzare per il dimensionamento degli eventuali interventi di consolidamento al fronte, sia il maggiore tra quelli ottenuti con le due combinazioni dell'approccio 1:

- combinazione 1: A1+M1+R1

- combinazione 2: A2+M2+R2

adottando i valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II del NTC 2008 e i coefficienti γ_R dei gruppi R1 e R2 pari all'unità.

Operando in questo modo si ottiene un valore del carico di stabilizzazione q_t , che può essere negativo o positivo; nel primo caso il fronte è stabile, nel secondo caso, invece, il fronte può essere instabile e quindi q_t è il valore del contributo alla resistenza che deve essere fornito dagli interventi di consolidamento.

La valutazione della stabilità del fronte di scavo è stata eseguita in corrispondenza di ciascuna zona omogenea in cui è stato suddiviso il tracciato (cfr. Tabella 1) e, per ogni zona omogenea, è stata valutata in corrispondenza della massima e minima copertura che si presenta nel tratto in esame. Nei paragrafi seguenti si descrivono i risultati ottenuti per ogni zona, riportando esplicitamente i risultati del solo caso più gravoso analizzato in termini di copertura.

6.1 ANALISI ZONA DI IMBOCCO LATO SUD

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla zona di imbocco lato Sud (lato Grosseto), adottando i parametri di resistenza indicati in Tabella 1. Tali parametri sono stati poi ridotti adottando i coefficienti parziali per i parametri geotecnici (cfr. D.M. 2008 – Tabella 6.2.II), ottenendo così i parametri di progetto.

La Tabella 2 riporta i risultati del calcolo dal quale si evince che il fronte risulta stabile ($q_{t,d}$ negativo).

Tabella 2: Stabilità fronte di scavo zona di imbocco lato Sud.

Dati Galleria		
Area	158.59	m ²
Diametro equivalente	14.21	m
Profondità centro - H	18.1	m
Parametri caratteristici		
c' _k	70	kPa
φ' _k	33	°
γ	23	kPa
Sovraccarico		
q _s	0	kPa
Parametri geometrici		
H	18.1	m
a	7.1	m
a/H	0.39	-
Parametri di calcolo		
c' _d	56.0	kPa
φ' _d	27.5	°
q _{s,d}	0	kPa
N	2.71	-
Q _s	0.04	-
Q _y	0.4	-
q _{t,d}	-35.9	kPa

6.2 ANALISI ZONA DI FAGLIA

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla zona di faglia individuata nel tratto a valle della zona di imbocco lato sud (cfr. Profilo geotecnico Asse Destro T00-GE00-GET-FG02-A), adottando i parametri di resistenza indicati in Tabella 1. Tali parametri sono stati ridotti poi adottando i coefficienti parziali per i parametri geotecnici (cfr. D.M. 2008 – Tabella 6.2.II), ottenendo così i parametri di progetto.

La Tabella 3 riporta i risultati del calcolo dal quale si evince che il fronte risulta instabile ($q_{t,d}$ positivo). Per la zona di faglia, pertanto, si prevede di ricorrere ad interventi di consolidamento in avanzamento con elementi strutturali in vetroresina (VTR) che forniscano una pressione al fronte tale da riportare il cavo in condizioni di stabilità.

Tabella 3: Stabilità fronte di scavo zona di faglia.

Dati Galleria		
Area	138.22	m ²
Diametro equivalente	13.27	m
Profondità centro - H	11.6	m
Parametri caratteristici		
c' _k	31	kPa
φ' _k	27.3	°
γ	23	kPa
Sovraccarico		
q _s	0	kPa
Parametri geometrici		
H	11.6	m
a	6.6	m
a/H	0.57	-
Parametri di calcolo		
c' _d	24.8	kPa
φ' _d	22.4	°
q _{s,d}	0	kPa
N	2.23	-
Q _s	0.22	-
Q _y	0.6	-
q _{t,d}	41.9	kPa

Tale pressione di stabilizzazione è garantita mediante l'impiego di n. 50 barre in VTR di lunghezza 20 m e sovrapposizione 12.5 m.

6.3 ANALISI ZONA DI MASSIMA COPERTURA

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla zona di massima copertura, adottando i parametri di resistenza indicati in Tabella 1. Tali parametri sono stati poi ridotti adottando i coefficienti parziali per i parametri geotecnici (cfr. D.M. 2008 – Tabella 6.2.II), ottenendo così i parametri di progetto.

La Tabella 4 riporta i risultati del calcolo dal quale si evince che il fronte risulta stabile ($q_{t,d}$ negativo).

Tabella 4: Stabilità fronte di scavo zona di massima copertura.

Dati Galleria		
Area	138.22	m ²
Diametro equivalente	13.27	m
Profondità centro - H	22.6	m
Parametri caratteristici		
c' _k	137	kPa
φ' _k	42.9	°
γ	23	kPa
Sovraccarico		
q _s	0	kPa
Parametri geometrici		
H	22.6	m
a	6.6	m
a/H	0.29	-
Parametri di calcolo		
c' _d	109.6	kPa
φ' _d	36.6	°
q _{s,d}	0	kPa
N	3.96	-
Q _s	0.00	-
Q _y	0.2	-
q _{t,d}	-116.3	kPa

6.4 ANALISI ZONA DI IMBOCCO LATO NORD

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla zona di imbocco lato nord, adottando i parametri di resistenza relativi all'unità geotecnica A riepilogati nella Tabella 1. Tali parametri sono stati poi ridotti adottando i coefficienti parziali per i parametri geotecnici (cfr. D.M. 2008 – Tabella 6.2.II), ottenendo così i parametri di progetto.

La Tabella 5 riporta i risultati del calcolo dal quale si evince che il fronte risulta instabile ($q_{t,d}$ positivo). Per la zona di imbocco lato nord, pertanto, si prevede di ricorrere ad interventi di consolidamento in avanzamento con elementi strutturali in vetroresina (VTR) in grado di fornire la pressione al fronte necessaria a riportare il cavo in condizioni di stabilità.

Tabella 5: Stabilità fronte di scavo zona di massima copertura.

Dati Galleria		
Area	158.59	m ²
Diametro equivalente	14.21	m
Profondità centro - H	25.1	m
Parametri caratteristici		
c' _k	30	kPa
φ' _k	28	°
γ	19	kPa
Sovraccarico		
q _s	0	kPa
Parametri geometrici		
H	25.1	m
a	7.1	m
a/H	0.28	-
Parametri di calcolo		
c' _d	24	kPa
φ' _d	23	°
q _{s,d}	0	kPa
N	2.29	-
Q _s	0.04	-
Q _y	0.6	-
q _{t,d}	31.6	kPa

Tale pressione di stabilizzazione è garantita mediante l'impiego di n.44 barre in VTR di lunghezza 20 m e sovrapposizione 12.5 m; tuttavia, cautelativamente si decide di impiegare n.50 chiodi.

7. DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO

Le sezioni tipo individuate prevedono la realizzazione della galleria con scavo a piena sezione, sagomatura del fronte a forma concava ed eventuali interventi di pre-consolidamento del fronte. A seguito della realizzazione di ogni sfondo è prevista la realizzazione del rivestimento provvisorio; per ogni sezione tipo, inoltre, è definita la distanza massima dal fronte alla quale realizzare il rivestimento definitivo di arco rovescio, murette e calotta (cfr. elaborati grafici di progetto relativi agli scavi e consolidamenti).

L'applicazione delle sezioni tipo lungo lo sviluppo della galleria è indicata nel profilo geomeccanico di progetto della galleria in esame.

7.1 SEZIONE TIPO A1

La sezione tipo A1 è costituita da:

- n. 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L=30.0 m con sovrapposizione 7.5 m;
- pre-rivestimento costituito da 25 cm di *spritz-beton* fibrorinforzato e centine 2IPN 180 accoppiate a passo 1.25 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- arco rovescio e murette in calcestruzzo armato di spessore pari a 70 cm realizzato ad una distanza dal fronte di scavo non superiore a 40 m;
- calotta in calcestruzzo armato di spessore pari a 60 cm realizzata ad una distanza dal fronte di scavo non superiore a 60 m.

Questa sezione viene impiegata principalmente nelle zone dove l'ammasso roccioso presenta le migliori caratteristiche meccaniche; nello specifico, nei tratti a massima copertura.

7.2 SEZIONE TIPO A2

La sezione tipo A2 è costituita da:

- n. 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L=30.0 m con sovrapposizione 8 m;
- pre-consolidamento del fronte mediante la messa in opera di n. 50 elementi strutturali in vetroresina, costituiti da un tubo di diametro esterno 60 mm, diametro interno 40 mm, aventi lunghezza L=20 m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 12 m;
- pre-rivestimento costituito da 25 cm di *spritz-beton* fibrorinforzato e centine 2IPN 180 accoppiate a passo 1.00 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- arco rovescio e murette in calcestruzzo armato di spessore pari a 70 cm eseguito ad una distanza dal fronte di scavo non superiore a 16 m;
- calotta in calcestruzzo armato di spessore pari a 60 cm eseguita ad una distanza dal fronte non superiore a 24 m.

Questa sezione viene impiegata principalmente nelle zone dove lo scavo avviene nel materiale di faglia.

7.3 SEZIONE TIPO B1

La sezione tipo B1 è costituita da:

- n. 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L=30.0 m con sovrapposizione 7.5 m;
- pre-sostegno costituito da n. 41 tubi in acciaio $\phi 127$, sp=10 mm, lunghezza L=12 m e sovrapposizione pari a 4.5 m;
- pre-rivestimento costituito da 25 cm di *spritz-beton* fibrorinforzato e centine 2IPN 180 accoppiate a passo 1.25 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- arco rovescio e murette in calcestruzzo armato di spessore pari a 70 cm eseguito ad una distanza dal fronte di scavo non superiore a 15 m;
- calotta in calcestruzzo armato di spessore variabile tra 60 e 125 cm eseguita ad una distanza dal fronte non superiore a 22.5 m.

Questa sezione viene impiegata principalmente nella zona di imbocco lato sud.

7.4 SEZIONE TIPO B2

La sezione tipo B2 è costituita da:

- n. 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L=30.0 m con sovrapposizione 7.5 m;
- pre-sostegno costituito da n. 41 tubi in acciaio $\phi 127$, sp=10 mm, lunghezza L=12 m e sovrapposizione pari a 4.5 m;
- pre-consolidamento del fronte mediante la messa in opera di n. 50 elementi strutturali in vetroresina, costituiti da un tubo di diametro esterno 60 mm, diametro interno 40 mm, aventi lunghezza L=20 m e sovrapposizione minima con il campo successivo pari a 12.5 m;
- pre-rivestimento costituito da 25 cm di *spritz-beton* fibrorinforzato e centine 2IPN 180 accoppiate a passo 1.25 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- arco rovescio e murette in calcestruzzo armato di spessore pari a 70 cm eseguito ad una distanza dal fronte di scavo non superiore a 15 m;
- calotta in calcestruzzo armato di spessore variabile tra 60 e 125 cm eseguita ad una distanza dal fronte non superiore a 22.5 m.

Questa sezione viene impiegata principalmente nella zona di imbocco lato nord.

8. ANALISI DI INTERAZIONE STRUTTURE-TERRENO

8.1 IMPOSTAZIONE DELLE ANALISI NUMERICHE

Le sezioni tipo sono state studiate attraverso analisi numeriche impiegando il programma alle differenze finite *FLAC. 5.0 2D*, che consente di affrontare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi in un dominio bidimensionale.

La griglia di calcolo è stata costruita in modo da essere opportunamente fitta nella zona intorno alla galleria, più lasca verso i bordi. L'estensione è inoltre tale per cui le condizioni al contorno non influenzano la zona in cui si risente maggiormente delle variazioni tensionali dovute allo scavo.

Lo scavo della galleria viene simulato rimuovendo gli elementi della *mesh* all'interno della sagoma di scavo, catturando le forze al contorno corrispondenti per poi riapplicarle impiegando valori del coefficiente di rilascio dello stato tensionale, λ , a simulazione del detensionamento che avviene per effetto del progredire dello scavo.

Il legame costitutivo utilizzato è di tipo elastico perfettamente plastico con criterio di rottura di *Mohr-Coulomb*. sezione tipo a1.

8.2 SEZIONE TIPO A1

Per la sezione A1 è stata condotta l'analisi in corrispondenza della massima copertura con cui si presenta lungo il tracciato ($H = 48$ m). La sezione della galleria è schematizzata rispetto al suo asse di simmetria verticale.

L'ammasso è stato caratterizzato con i parametri di resistenza riportati in Tabella 1 in riferimento alla copertura di 48 m. Il rapporto tra le tensioni orizzontali iniziali e quelle verticali è stato assunto pari a 0.8.

L'analisi numerica è divisa in fasi successive di calcolo (*TIME*) che simulano le reali fasi di scavo e consolidamento.

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

- **TIME 0 – Geostatico:** viene ricostruita in termini di tensioni la situazione preesistente alla realizzazione della galleria (*ante operam*);
- **TIME 1 – Scavo al fronte:** viene eseguito lo scavo della galleria, si applica un rilascio pari $\lambda=0.30$;
- **TIME 2 – Installazione del pre-rivestimento:** viene simulata la realizzazione del pre-rivestimento, costituito da centine e *spritz-beton*, mediante l'inserimento di un elemento *beam* di caratteristiche equivalenti agli elementi strutturali che rappresenta, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.90$;
- **TIME 3 – Realizzazione arco rovescio e murette:** viene simulata la realizzazione dell'arco rovescio mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.98$;

- TIME 4 – Realizzazione della calotta: viene simulata la realizzazione della calotta mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=1$;
- TIME 5 – Decadimento proprietà rivestimento provvisorio: si simula il decadimento delle proprietà del rivestimento eliminando gli elementi corrispondenti.

Le Figura 1 e Figura 2 seguenti mostrano la geometria della *mesh* impiegata e un dettaglio della stessa.

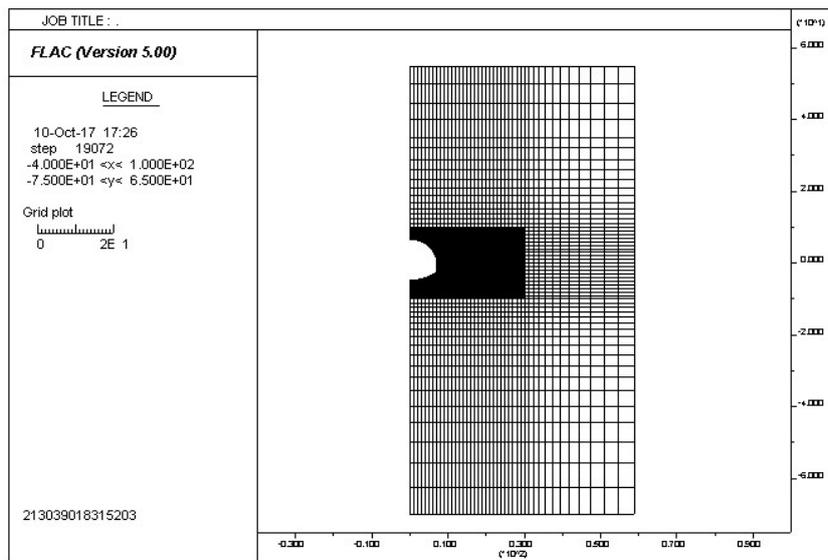


Figura 1: Sezione tipo A1, geometria della *mesh* dell'analisi numerica.

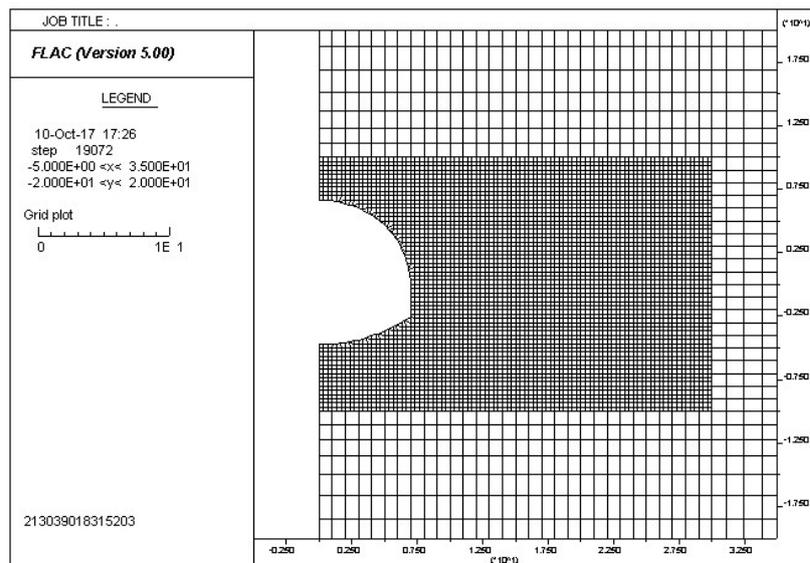


Figura 2: Sezione tipo A1, dettaglio della geometria della *mesh* nell'intorno della galleria.

Nelle figure seguenti si riportano graficamente gli *output* del programma di calcolo relativi alle sollecitazioni ottenute sul pre-rivestimento e sul rivestimento definitivo in riferimento alla fase di analisi più gravosa.

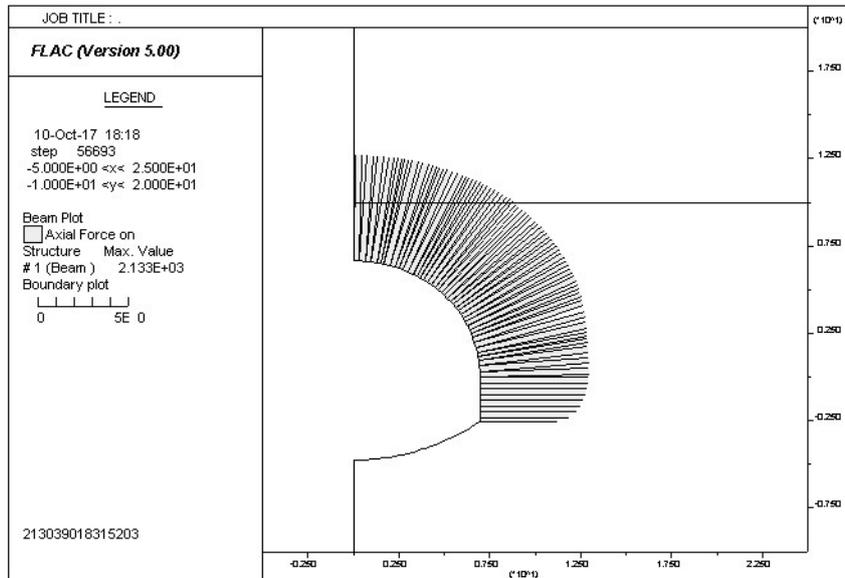


Figura 3: Sezione tipo A1, sforzo normale sul prerivestimento centine+spritz.

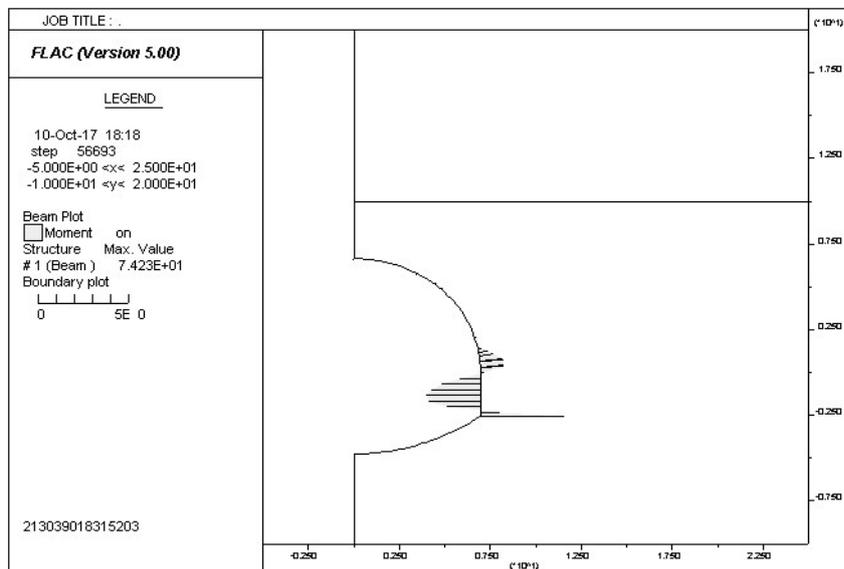


Figura 4: Sezione tipo A1, momento flettente sul prerivestimento centine+spritz.

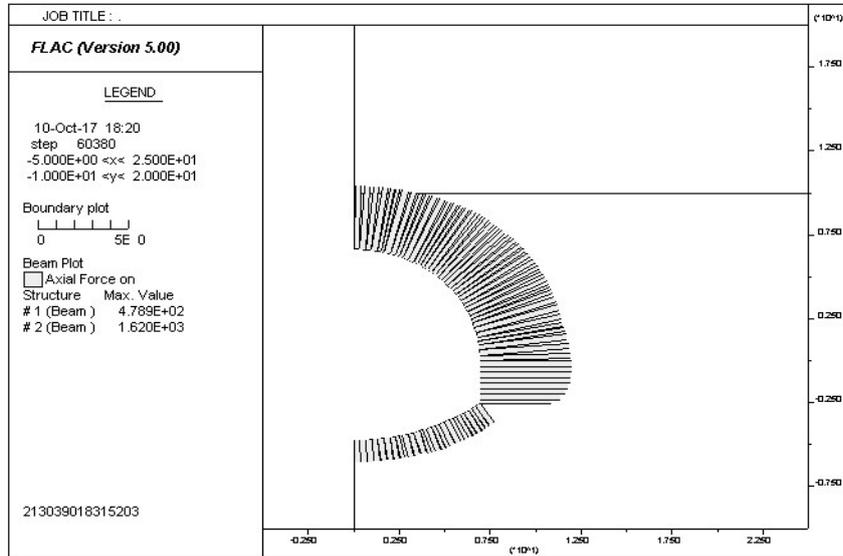


Figura 5: Sezione tipo A1, sforzo normale sul rivestimento definitivo.

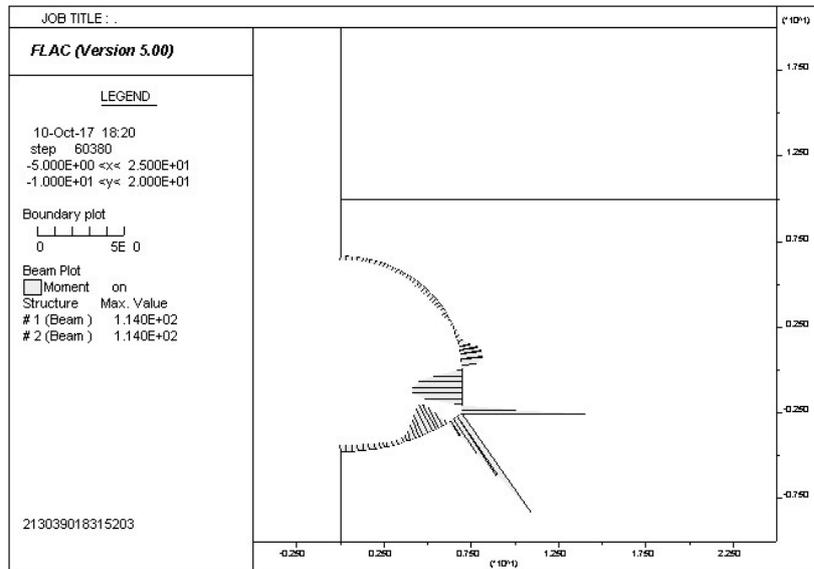


Figura 6: Sezione tipo A1, momento flettente sul rivestimento definitivo.

8.3 SEZIONE TIPO A2

Per la sezione A2 è stata condotta l'analisi in corrispondenza della copertura pari a 20 m. La sezione della galleria è schematizzata rispetto al suo asse di simmetria verticale.

L'ammasso è stato caratterizzato con i parametri di resistenza riportati in Tabella 1 in riferimento alla copertura di 20 m. Il rapporto tra le tensioni orizzontali iniziali e quelle verticali è stato assunto pari a 0.8.

L'analisi numerica è divisa in fasi successive di calcolo (*TIME*) che simulano le reali fasi di scavo e consolidamento.

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

- TIME 0 – Geostatico: viene ricostruita in termini di tensioni la situazione preesistente alla realizzazione della galleria (*ante operam*);
- TIME 1 – Scavo al fronte: viene eseguito lo scavo della galleria, si applica un rilascio pari $\lambda=0.30$;
- TIME 2 – Installazione del pre-rivestimento: viene simulata la realizzazione del pre-rivestimento, costituito da centine e *spritz-beton*, mediante l'inserimento di un elemento *beam* di caratteristiche equivalenti agli elementi strutturali che rappresenta, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.75$;
- TIME 3 – Realizzazione arco rovescio e murette: viene simulata la realizzazione dell'arco rovescio mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.84$;
- TIME 4 – Realizzazione della calotta: viene simulata la realizzazione della calotta mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=1$;
- TIME 5 – Decadimento proprietà rivestimento provvisorio: si simula il decadimento delle proprietà del rivestimento eliminando gli elementi corrispondenti.

Le Figura 7 e Figura 8 seguenti mostrano la geometria della *mesh* impiegata e un dettaglio della stessa.

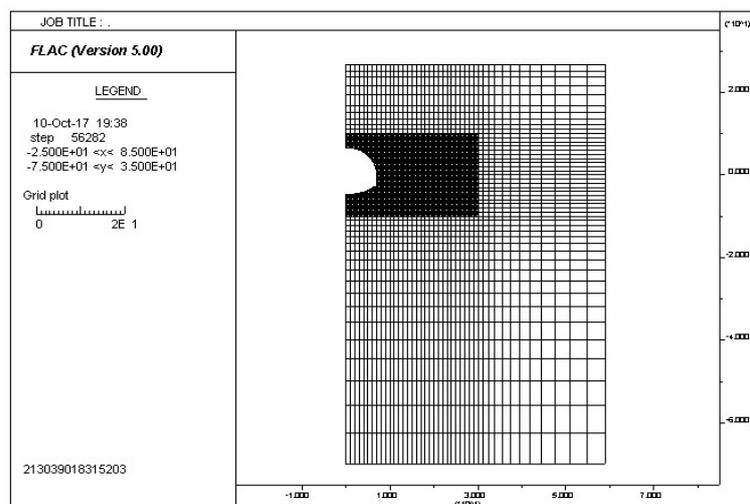


Figura 7: Sezione tipo A2, geometria della *mesh* dell'analisi numerica.

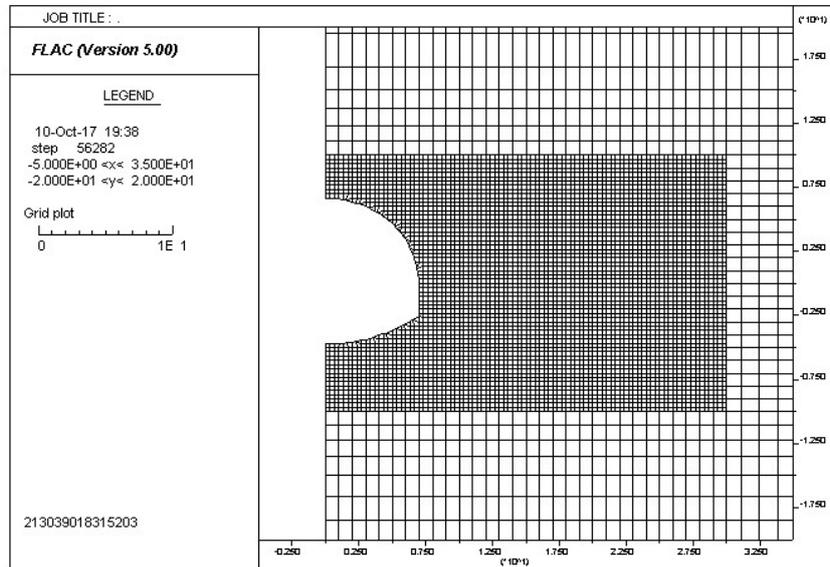


Figura 8: Sezione tipo A2, dettaglio della geometria della *mesh* nell'intorno della galleria.

Nelle figure seguenti si riportano graficamente gli *output* del programma di calcolo relativi alle sollecitazioni ottenute sul pre-rivestimento e sul rivestimento definitivo in riferimento alla fase di analisi più gravosa.

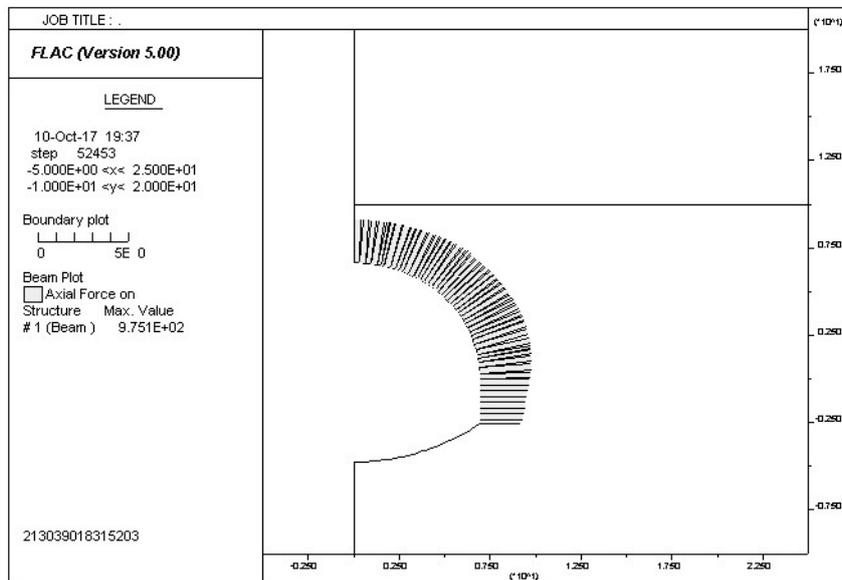


Figura 9: Sezione tipo A2, sforzo normale sul prerivestimento centine+spritz.

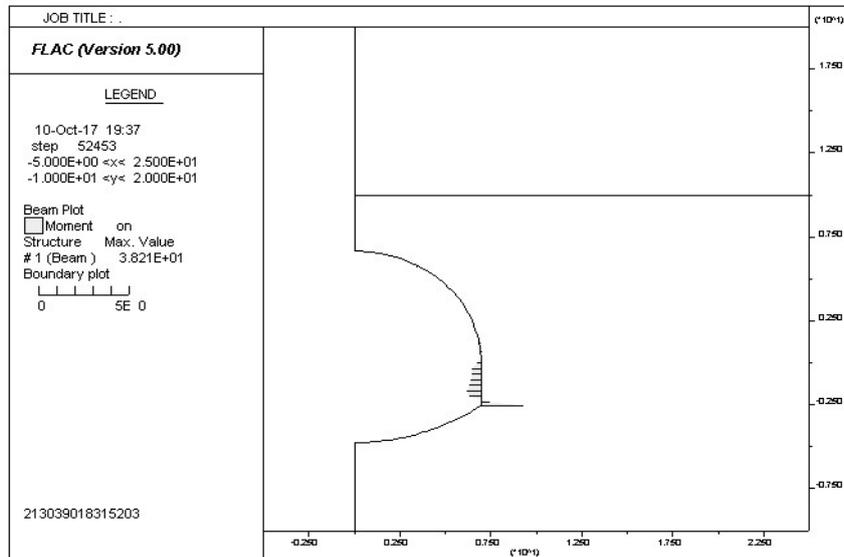


Figura 10: Sezione tipo A2, momento flettente sul prerivestimento centine+spritz.

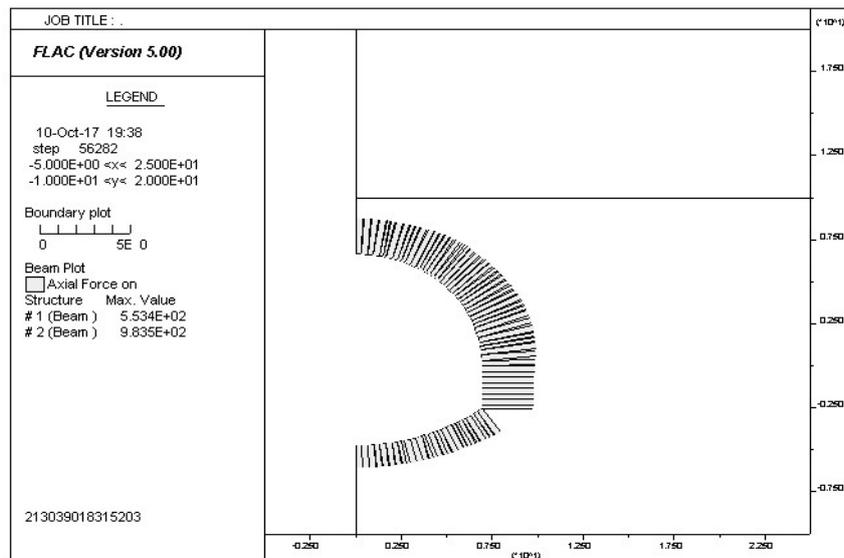


Figura 11: Sezione tipo A2, sforzo normale sul rivestimento definitivo.

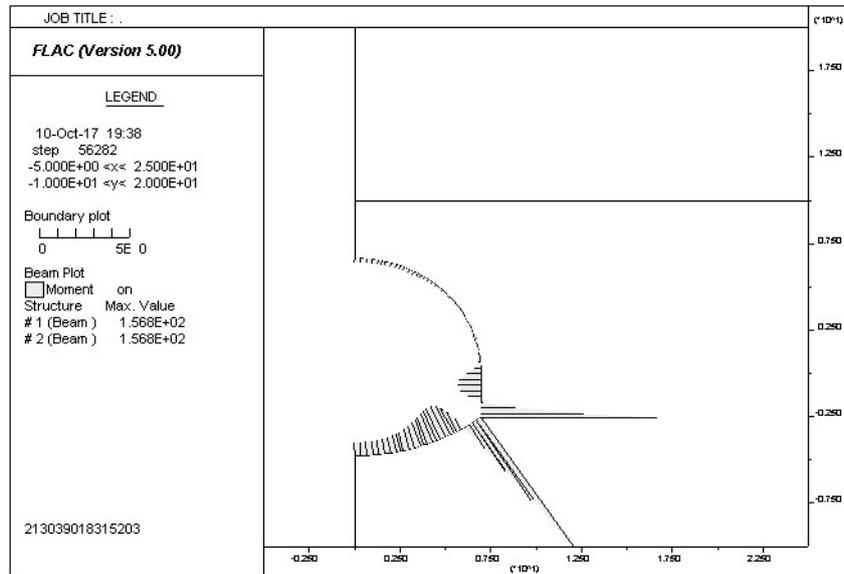


Figura 12: Sezione tipo A2, momento flettente sul rivestimento definitivo.

9. VERIFICHE STRUTTURALI

9.1 CRITERI DI VERIFICA

Il rivestimento provvisorio (centine + *spritz-beton*) è stato oggetto di verifiche strutturali agli stati limite ultimi (SLU); il rivestimento definitivo in calcestruzzo armato (arco rovescio e calotta) è stato oggetto di verifiche strutturali sia agli stati limite ultimi (SLU), sia agli stati limite di esercizio (SLE).

Le verifiche SLU sono state eseguite verificando la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove R_d è la resistenza di progetto, valutata in base alle resistenze di progetto dei materiali, ed E_d è l'effetto dell'azione di calcolo.

In particolare, per le verifiche è stata usata la combinazione 1 (A1 + M1); pertanto, le sollecitazioni agenti sui rivestimenti, determinate attraverso l'analisi di interazione terreno-sostegno con il codice di calcolo alle differenze finite *FLAC*, sono state considerate come azioni caratteristiche permanenti. Le azioni di progetto E_d sono state ricavate poi moltiplicando le azioni caratteristiche per il coefficiente $\gamma_{G1}=1.3$ (Tabella 6 – cfr. Tabella 6.2.I NTC 2008).

Tabella 6: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Per le verifiche SLU a pressoflessione del rivestimento provvisorio (centine + *spritz-beton*) si è proceduto andando a verificare che i punti di coordinate M_d-N_d , rappresentativi dei valori di progetto degli effetti delle azioni di calcolo, ricadessero tutti all'interno del dominio resistente ultimo della sezione composta da centine+*spritz*. In dettaglio, nella costruzione del dominio ultimo, la sezione è stata schematizzata assimilando le ali delle centine alle armature.

Per quanto riguarda la verifica SLE del rivestimento definitivo, lo stato limite di riferimento per la verifica a fessurazione è stato scelto secondo le indicazioni della Tabella 7 (cfr. Tabella 7, Tab. 4.1.IV, NTC 2008). La verifica è stata eseguita mediante la procedura semplificata illustrata al punto C4 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, la quale consente di effettuare le verifiche

calcolando la tensione massima nella fibra di acciaio più sollecitata e rispettando i limiti indicati nelle Tabella 8 e Tabella 9 (cfr. Tab. C4.1.II e C4.1.III, Circ. 02/02/09 n. 617).

Tabella 7: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella 8: Diametri massimi delle barre per il controllo della 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 9: Spaziatura massima delle barre per il controllo della 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	-

9.2 VERIFICA SEZIONE TIPO A1

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (centine + *spritz-beton*) e sul rivestimento definitivo (arco rovescio e murette, calotta).

9.2.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 9.1. È stata considerata una sezione di calcestruzzo armato avente base pari a 1.25 m, altezza pari a 25 cm con armatura simmetrica e copriferro pari a 5 cm. Sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in *output* dal *software* FLAC. Si è accertato, in seguito, che i punti aventi le coordinate M_d-N_d rappresentativi degli effetti delle azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1}), siano interni al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione $M-N$ costruita seguendo le istruzioni riportate nei paragrafi precedenti.

Di seguito si riporta il dominio di resistenza ultimo della sezione di rivestimento provvisorio:

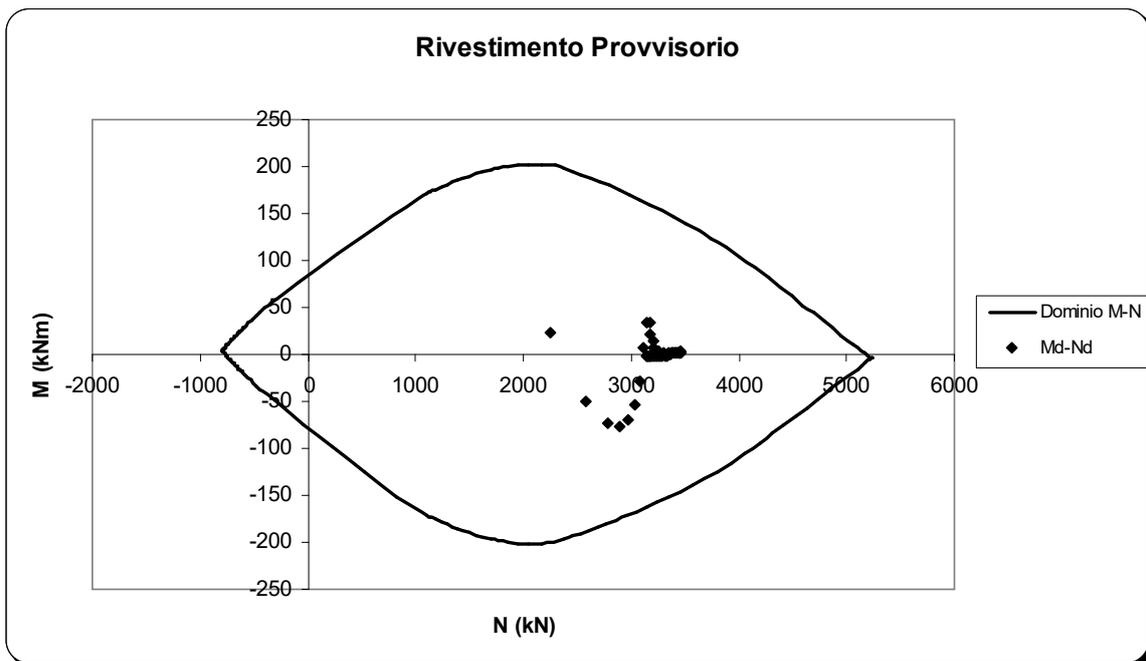


Figura 13: Sezione tipo A1, dominio di resistenza SLU del rivestimento provvisorio.

9.2.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 9.1. È stata considerata una sezione di calcestruzzo armato avente base pari a 1 m, altezza pari a 70 cm con armatura simmetrica e copriferro pari a 5 cm. Sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in *output* dal *software* FLAC. Si è accertato, in seguito, che i punti aventi le coordinate M_d-N_d rappresentativi degli effetti delle

azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1}), siano interni al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione $M-N$ costruita seguendo le istruzioni riportate nei paragrafi precedenti.

Le armature previste sono:

- A_f (estradosso) = $5\Phi 20$;
- A'_f (intradosso) = $5\Phi 20$.

Di seguito si riporta il dominio di resistenza ultima della sezione di arco rovescio.

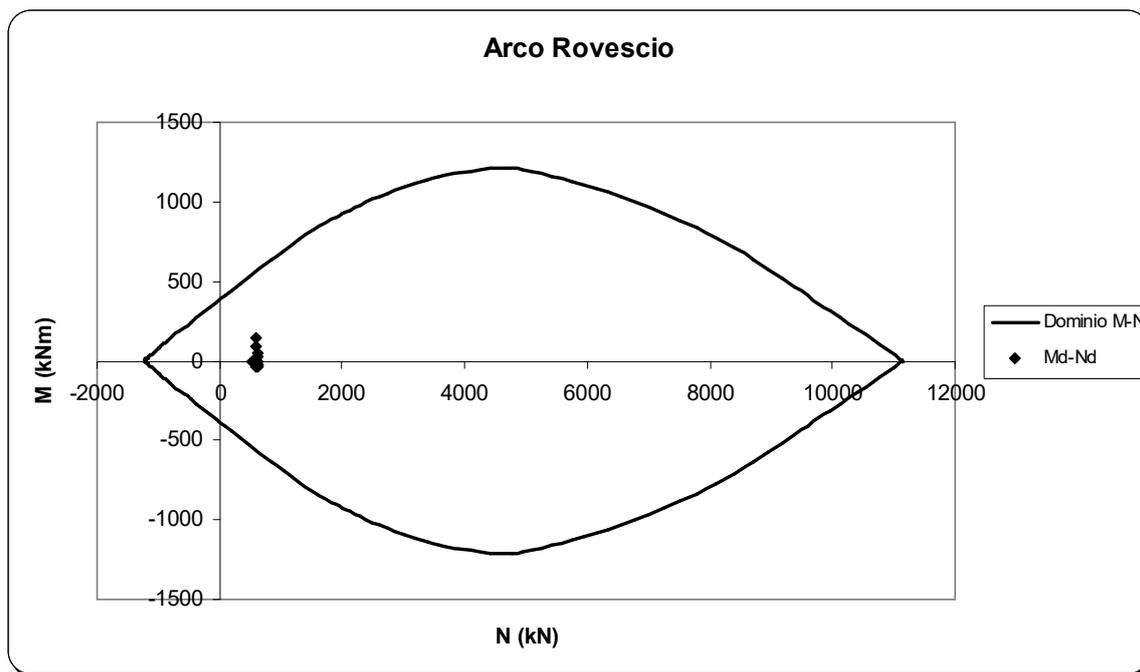


Figura 14: Sezione tipo A1, dominio di resistenza SLU dell'arco rovescio.

Per quanto riguarda le verifiche agli stati limite di esercizio, sono state stimate sia le tensioni di esercizio nel calcestruzzo e nell'acciaio, sia le ampiezze delle aperture nel calcestruzzo fessurato. Nella tabella seguente per il rivestimento armato in arco rovescio viene riportata la verifica nelle condizioni limite di esercizio.

Tabella 10: Sezione tipo A1, verifica SLE dell'arco rovescio.

H (mm)	c (mm)	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	N_d (kN)	M_d (kNm)	x_n (cm)	σ_c (MPa)	σ_s (MPa)
700	50	15.71	15.71	478	39.5	-	1.061	-

La sezione risulta interamente compressa.

9.2.3 Rivestimento definitivo (calotta)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 9.1. È stata considerata una sezione di calcestruzzo armato avente base pari a 1 m, altezza pari a 60 cm con armatura simmetrica e copriferro pari a 5 cm. Sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in *output* dal *software* FLAC. Si è accertato, in seguito, che i punti aventi le coordinate M_d-N_d rappresentativi degli effetti delle azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1}), siano interni al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione $M-N$ costruita seguendo le istruzioni riportate nei paragrafi precedenti.

Le armature previste sono:

- A_f (estradosso) = $5\Phi 20$;
- A'_f (intradosso) = $5\Phi 20$.

Di seguito si riporta il dominio di resistenza ultimo della sezione di calotta.

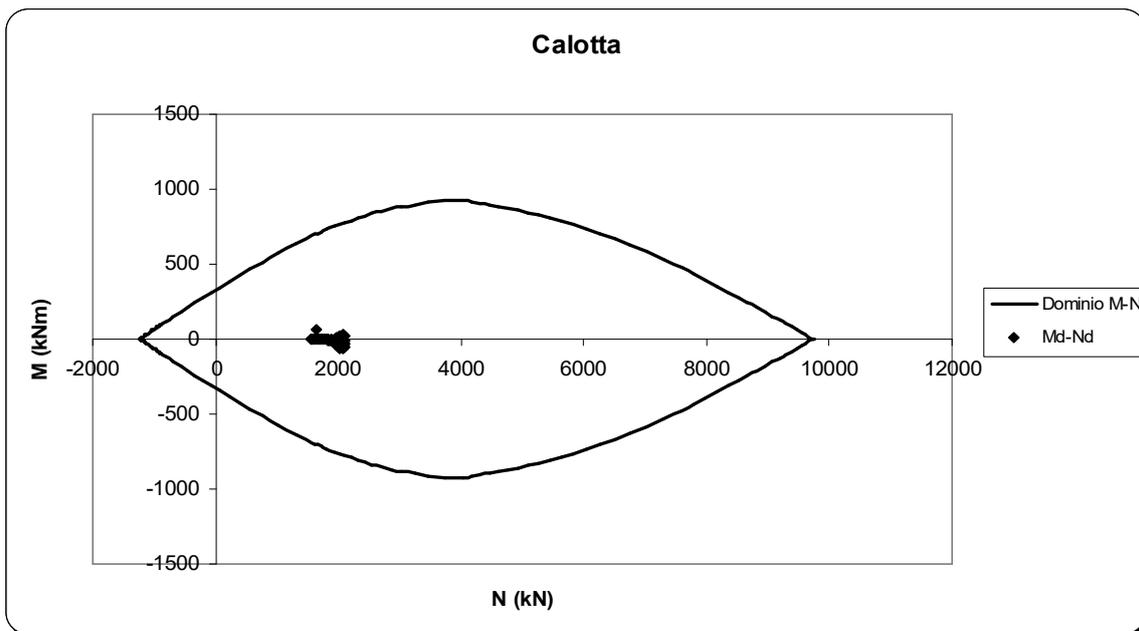


Figura 15: Sezione tipo A1, dominio di resistenza SLU della calotta.

Per quanto riguarda le verifiche agli stati limite di esercizio, sono state monitorate sia le tensioni di esercizio nel calcestruzzo e nell'acciaio, sia le ampiezze delle aperture nel calcestruzzo fessurato.

Nella tabella seguente per il rivestimento armato in calotta viene riportata la verifica nelle condizioni limite di esercizio.

Tabella 11: Sezione tipo A1, verifica SLE della calotta.

H (mm)	c (mm)	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	N_d (kN)	M_d (kNm)	x_n (cm)	σ_c (MPa)	σ_s (MPa)
600	50	15.71	15.71	1508	34.2	-	2.82	-

La sezione risulta interamente compressa.

9.3 VERIFICA SEZIONE TIPO A2

Di seguito sono riportati i risultati delle verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio (centine + *spritz-beton*) e sul rivestimento definitivo (arco rovescio e murette, calotta).

9.3.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 9.1. È stata considerata una sezione di calcestruzzo armato avente base pari a 1.25 m, altezza pari a 25 cm con armatura simmetrica e copriferro pari a 5 cm. Sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in *output* dal *software* FLAC. Si è accertato, in seguito, che i punti aventi le coordinate M_d-N_d rappresentativi degli effetti delle azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1}), siano interni al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione $M-N$ costruita seguendo le istruzioni riportate nei paragrafi precedenti.

Di seguito si riporta il dominio di resistenza della sezione di rivestimento provvisorio:

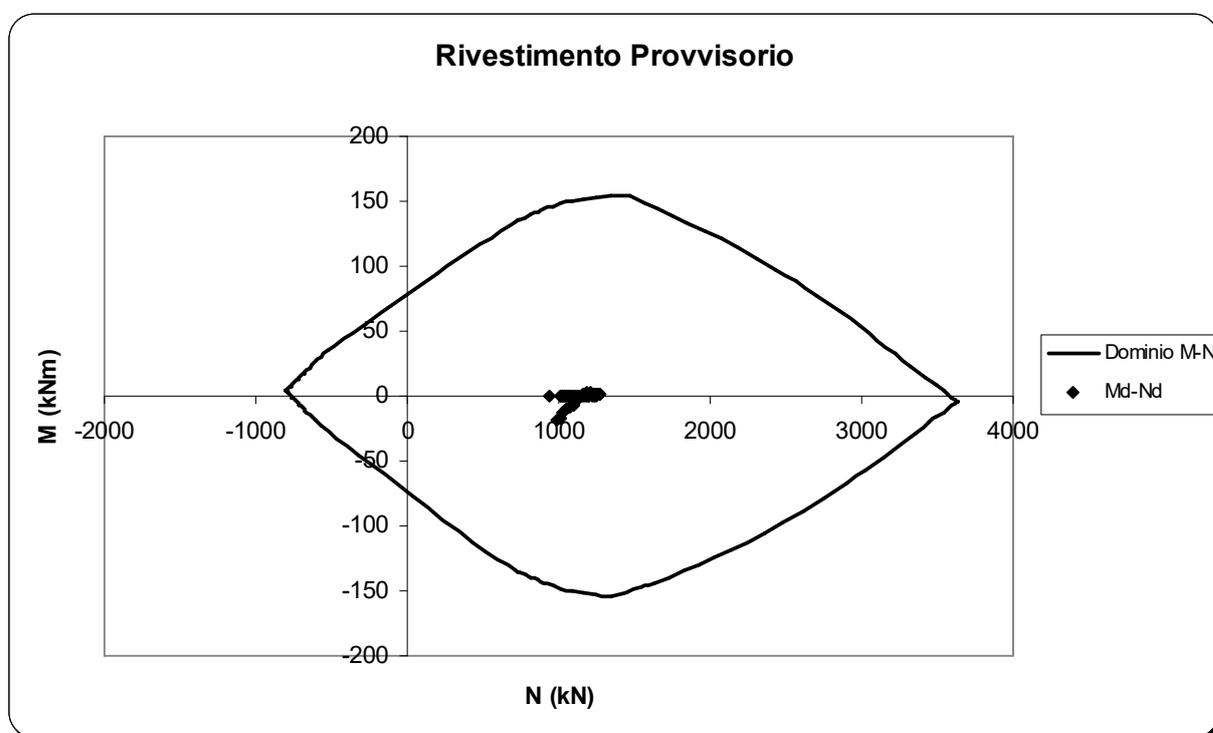


Figura 16: Sezione tipo A2, dominio di resistenza SLU del rivestimento provvisorio.

9.3.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 9.1. È stata considerata una sezione di calcestruzzo armato avente base pari a 1 m, altezza pari a 70 cm con armatura simmetrica e copriferro pari a 5 cm. Sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in *output* dal *software* FLAC. Si è accertato, in seguito, che i punti aventi le coordinate M_d-N_d rappresentativi degli effetti delle azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1}), siano interni al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione $M-N$ costruita seguendo le istruzioni riportate nei paragrafi precedenti.

Le armature previste sono:

- A_f (estradosso) = $5\Phi 20$;
- A'_f (intradosso) = $5\Phi 20$.

Di seguito si riporta il dominio di resistenza della sezione di arco rovescio.

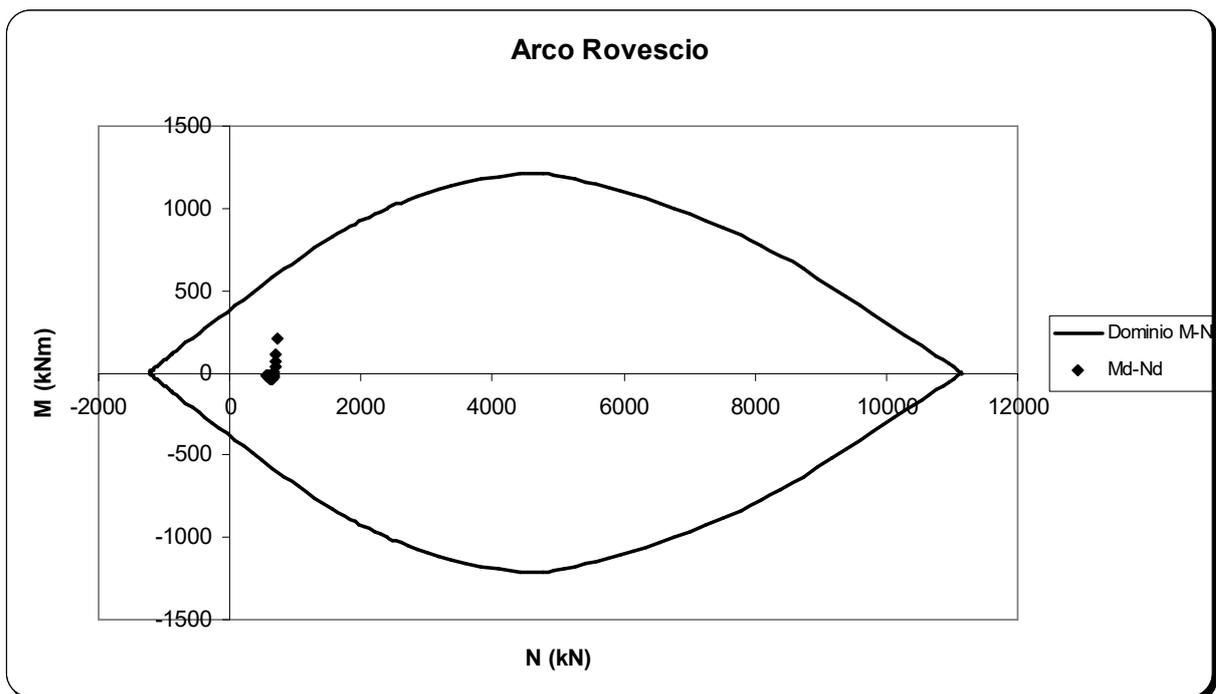


Figura 17: Sezione tipo A2, dominio di resistenza SLU dell'arco rovescio.

Per quanto riguarda le verifiche agli stati limite di esercizio, sono state monitorate sia le tensioni di esercizio nel calcestruzzo e nell'acciaio, sia le ampiezze delle aperture nel

calcestruzzo fessurato. Nella tabella seguente per il rivestimento armato in arco rovescio viene riportata la verifica nelle condizioni limite di esercizio.

Tabella 12: Sezione tipo A2, verifica SLE dell'arco rovescio.

H (mm)	c (mm)	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	N_d (kN)	M_d (kNm)	x_n (cm)	σ_c (MPa)	σ_s (MPa)
700	50	15.71	15.71	544.9	54.2	-	1.307	-

La sezione risulta interamente compressa.

9.3.3 Rivestimento definitivo (calotta)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 9.1. È stata considerata una sezione di calcestruzzo armato avente base pari a 1 m, altezza pari a 60 cm con armatura simmetrica e copriferro pari a 5 cm. Sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in *output* dal *software* FLAC. Si è accertato, in seguito, che i punti aventi le coordinate M_d-N_d rappresentativi degli effetti delle azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza γ_{G1}), appartengano al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione $M-N$ costruita seguendo le istruzioni riportate nei paragrafi precedenti.

Le armature previste sono:

- A_f (estradosso) = 5 Φ 20;
- A'_f (intradosso) = 5 Φ 20.

Di seguito si riporta il dominio di resistenza della sezione di calotta.

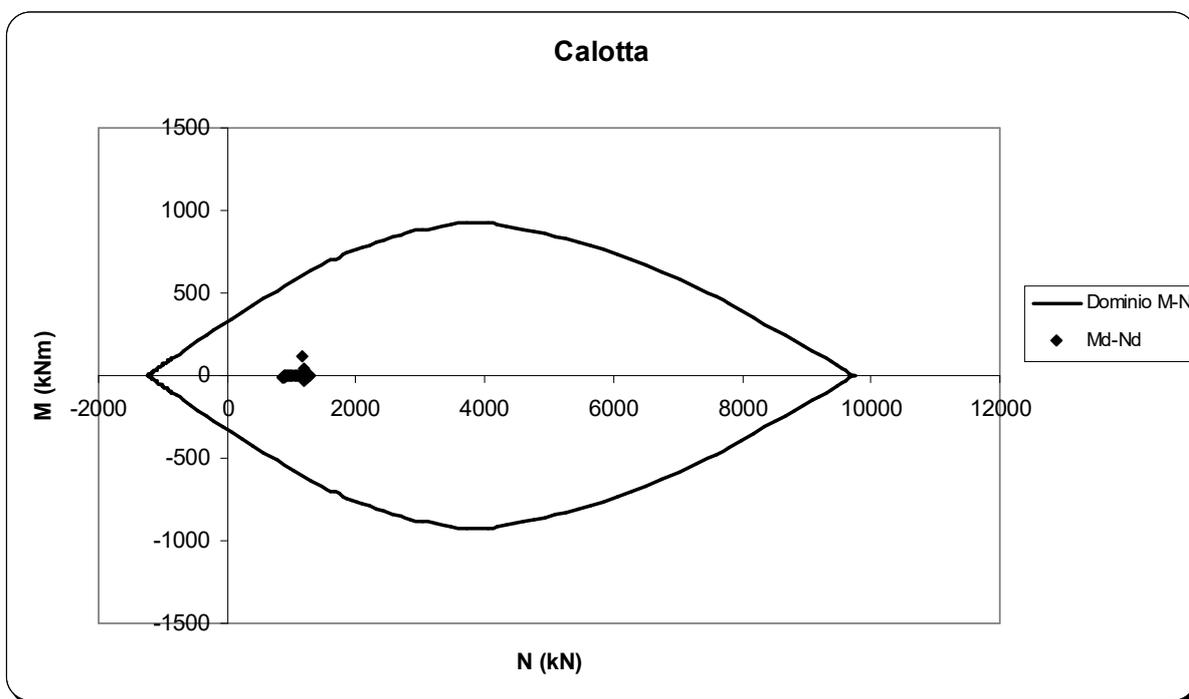


Figura 18: Sezione tipo A2, dominio di resistenza SLU della calotta.

Per quanto riguarda le verifiche agli stati limite di esercizio, sono state monitorate sia le tensioni di esercizio nel calcestruzzo e nell'acciaio, sia le ampiezze delle aperture nel calcestruzzo fessurato. Nella tabella seguente per il rivestimento armato in calotta viene riportata la verifica nelle condizioni limite di esercizio.

Tabella 13: Sezione tipo A2, verifica SLE della calotta.

H (mm)	c (mm)	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	N_d (kN)	M_d (kNm)	x_n (cm)	σ_c (MPa)	σ_s (MPa)
600	50	15.71	15.71	910.7	11.6	-	1.573	-

La sezione risulta interamente compressa.

10. MONITORAGGIO

Lo scopo del monitoraggio è di tenere sotto controllo l'evoluzione della risposta tenso-deformativa dell'ammasso durante le fasi di scavo, verificare in funzione di questa che i presupposti progettuali siano rispettati e fornire indicazioni sulle sezioni e sugli interventi da adottare.

Per la galleria in oggetto si prevede la predisposizione di:

- rilievi geostrutturali sistematici del fronte di scavo da realizzarsi alla fine di ogni campo e comunque con frequenza non minore di 8-10 m;
- stazioni di misura delle convergenze a cinque chiodi;
- sondaggi sistematici in avanzamento con registrazione dei parametri (*DAC test*) di lunghezza $L=30$ m e sovrapposizione 15 m da realizzarsi su tutta la lunghezza della galleria;
- stazioni di misura dell'estrusione al fronte mediante estrusometro da realizzarsi su tutta la lunghezza della galleria;
- stazioni di misura dello stato tensionale nei rivestimenti provvisori mediante celle di carico al di sotto del piede della centina e barrette estensimetriche da posizionarsi sull'anima del profilato delle centine;
- stazioni di misura dello stato tensionale nei rivestimenti definitivi mediante barrette estensimetriche annegate nei getti.

Il monitoraggio è organizzato in modo da poter disporre di stazioni *standard*, caratterizzate dalla sola misura delle convergenze, e stazioni di misura speciali le quali, oltre la misura delle convergenze, sono caratterizzate dalla presenza di *strain gauges* nelle centine e nel rivestimento definitivo e celle di carico al di sotto del piede della centina. Si prevede di inserire per l'intero sviluppo della galleria la sezione di monitoraggio *standard* con passo 20-30 m e quella speciale con passo 80-100 m.

11. TABULATI DI INPUT FLAC 5.0

11.1 SEZIONE TIPO A1

```
config gw ats ex 10
set g 10
grid 321,80
gen 0.0,0.0 0.0,60.0 200.0,60.0 200.0,0.0 ratio 1.0,0.89 i 1 21 j 1 19
model elastic i=1,20 j=1,18
gen 200.0,0.0 200.0,60.0 270.0,60.0 270.0,0.0 ratio 0.88,0.89 i 21 39 j 1 19
model elastic i=21,38 j=1,18
gen 270.0,0.0 270.0,60.0 330.0,60.0 330.0,0.0 ratio 1.0,0.89 i 39 99 j 1 19
model elastic i=39,98 j=1,18
gen 330.0,0.0 330.0,60.0 400.0,60.0 400.0,0.0 ratio 1.13,0.89 i 99 117 j 1 19
model elastic i=99,116 j=1,18
gen 400.0,0.0 400.0,60.0 600.0,60.0 600.0,0.0 ratio 1.0,0.89 i 117 137 j 1 19
model elastic i=117,136 j=1,18
gen 0.0,60.0 0.0,80.0 200.0,80.0 200.0,60.0 ratio 1.0,1.0 i 1 21 j 19 39
model elastic i=1,20 j=19,38
gen 200.0,60.0 200.0,80.0 270.0,80.0 270.0,60.0 ratio 0.88,1.0 i 21 39 j 19 39
model elastic i=21,38 j=19,38
gen 270.0,60.0 270.0,80.0 330.0,80.0 330.0,60.0 ratio 1.0,1.0 i 140 320 j 1 61
model elastic i=140,319 j=1,60
gen 330.0,60.0 330.0,80.0 400.0,80.0 400.0,60.0 ratio 1.13,1.0 i 99 117 j 19 39
model elastic i=99,116 j=19,38
gen 400.0,60.0 400.0,80.0 600.0,80.0 600.0,60.0 ratio 1.0,1.0 i 117 137 j 19 39
model elastic i=117,136 j=19,38
gen 0.0,80.0 0.0,140.0 200.0,140.0 200.0,80.0 ratio 1.0,1.12 i 1 21 j 39 57
model elastic i=1,20 j=39,56
gen 200.0,80.0 200.0,140.0 270.0,140.0 270.0,80.0 ratio 0.88,1.12 i 21 39 j 39 57
model elastic i=21,38 j=39,56
gen 270.0,80.0 270.0,140.0 330.0,140.0 330.0,80.0 ratio 1.0,1.12 i 39 99 j 39 57
model elastic i=39,98 j=39,56
gen 330.0,80.0 330.0,140.0 400.0,140.0 400.0,80.0 ratio 1.13,1.12 i 99 117 j 39 57
model elastic i=99,116 j=39,56
gen 400.0,80.0 400.0,140.0 600.0,140.0 600.0,80.0 ratio 1.0,1.12 i 117 137 j 39 57
model elastic i=117,136 j=39,56
gen 0.0,140.0 0.0,380.0 200.0,380.0 200.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 1 21 j 57 81
model elastic i=1,20 j=57,80
gen 200.0,140.0 200.0,380.0 270.0,380.0 270.0,140.0 ratio 0.88,1.0 i 21 39 j 57 81
model elastic i=21,38 j=57,80
gen 270.0,140.0 270.0,380.0 330.0,380.0 330.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 39 99 j 57 81
model elastic i=39,98 j=57,80
gen 330.0,140.0 330.0,380.0 400.0,380.0 400.0,140.0 ratio 1.13,1.0 i 99 117 j 57 81
```

```
model elastic i=99,116 j=57,80
gen 400.0,140.0 400.0,380.0 600.0,380.0 600.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 117 137 j 57 81
model elastic i=117,136 j=57,80
attach aside from 39 19 to 99 19 bside from 140 1 to 320 1
attach aside from 39 39 to 39 19 bside from 140 61 to 140 1
attach aside from 140 61 to 320 61 bside from 39 39 to 99 39
attach aside from 320 61 to 320 1 bside from 99 39 to 99 19
;Centramento della griglia
ini y add -70
ini X add -300
ini y 54.66 i 1 137 j 55
ini y 50 i 1 137 j 54
ini y 44.66 i 1 137 j 53
ini y 40 i 1 137 j 52
ini y 35 i 1 137 j 51
;Analisi simmetrica
model null i 1 68 j 1 18
group 'null' i 1 68 j 1 18
group delete 'null'
model null i 1 38 j 19 38
group 'null' i 1 38 j 19 38
group delete 'null'
model null i 140 229 j 1 60
group 'null' i 140 229 j 1 60
group delete 'null'
model null i 1 68 j 39 80
group 'null' i 1 68 j 39 80
group delete 'null'
;-----riduzione copertura
;-----per avere H=48 m in calotta
model null i 1 136 j 55 80
group 'null' i 1 136 j 55 80
group delete 'null'
;-----riduzione estensione laterale della mesh---
model null i 111 136
;===== condizioni al contorno =====
fix y i 69 111 j 1
fix x i 69 j 1 19
fix x i 230 j 1 61
fix x i 69 j 39 55
fix x i 111 j 1 55
;-----assegnazione delle proprietà del materiale
group 'User:B'
model mohr notnull group 'User:B'
prop density=2.3 bulk=22.2E5 shear=7.4E5 cohesion=240.0 friction=35.63 dilation=0.0 tension=0.0 group 'User:B'
```

```
group 'User:A' notnull i 69 110 j 53 54
model mohr notnull group 'User:A'
prop density=1.9 bulk=2.67E4 shear=1.6E4 cohesion=30.0 friction=28.0 dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:A'
set flow off
set mech on
unmark
;=====
;===== generazione della galleria =====
;=====
;fish per registrare i punti marcati al contorno della galleria
def get_mark_back
loop i ( 1,igp)
loop j (1,jgp)
if ex_3(i,j) = 1 then
flags(i,j) = flags (i,j)+128
endif
endloop
endloop
end
;--generazione galleria
gen arc 0 7.3381 0,-4.7512 35.20762
gen line 6.97 -2.5397 6.97 0
gen arc 0.4450 0 6.97 0 56.20315
gen arc 0 -0.6648 4.0745,5.4224 35.20762
ini x 0 y -4.7512 i 230 j 17
ini x 6.97 y -2.5397 i 251 j 23
mark i 230 j 17
mark i 251 j 23
ini ex_3 = 1 mark
unmark
;=====
;=====TIME0 ; GEOSTATICO =====
;=====
;---inizializzazione stato di sforzo in sito
initial syy -190 var 0.0,190 i 69 110 j 53 54
initial syy -987.18 var 0.0,797.18 i 69 110 j 39 52
initial syy -1447.18 var 0.0,460 i 230 319 j 1 60
initial syy -2827.18 var 0.0,1380 i 69 110 j 1 18
initial syy -1447.18 var 0.0,460 i 99 110 j 19 38
;inizializz tens orizzontali (k0=0.8)
initial sxx -100.800403070681 var 0.0,100.800403070681 i 69 110 j 53 54
initial sxx -789.744 var 0.0,637.744 i 69 110 j 39 52
initial sxx -1157.744 var 0.0,368 i 230 319 j 1 60
initial sxx -2261.744 var 0.0,1104 i 69 110 j 1 18
initial sxx -1157.744 var 0.0,368 i 99 110 j 19 38
```

```
initial szz -100.800403070681 var 0.0,100.800403070681 i 69 110 j 53 54
initial szz -789.744 var 0.0,637.744 i 69 110 j 39 52
initial szz -1157.744 var 0.0,368 i 230 319 j 1 60
initial szz -2261.744 var 0.0,1104 i 69 110 j 1 18
initial szz -1157.744 var 0.0,368 i 99 110 j 19 38
set flow off
set mech on
;history
history 4 unbalanced
;settaggi e fissaggi
set gravity=10.0
; verifica equilibrio
set force 2e-3
set sratio 1e-6
solve
ini xdisp 0 ydisp 0
ini xvel 0 yvel 0
unmark
call fse$.fis
get_mark_back
;scavo galleria
model null region 233 26
group 'null' region 233 26
group delete 'null'
fix x y mark
step 100
; stato di sforzo litostatico sul contorno della galleria
find_rf
set force 0.005
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvel 0 yvel 0
free x y mark
fix x i 230 j 17
fix x i 230 j 51
;--rilascio del 30% del carico litostatico
set relax=0.05
app_rf
set force 0.1
;calotta
history 5 ydisp i=230 j=51
history 6 szz i=230 j=51
;pedritto
history 7 xdisp i=251 j=31
history 8 sxx i=251 j=31
```

```
;arco rovescio
;pieditto
history 9 ydisp i=230 j=17
history 10 syy i=230 j=16
solve
set relax 0.1
app_rf
solve
set relax 0.15
app_rf
solve
set relax 0.20
app_rf
solve
set relax 0.25
app_rf
solve
set relax 0.30
app_rf
solve
; messa in opera centine+spritz
struct prop 1001 a 0.276 i 0.00143 e 3.12e7 dens 2.2
struct node 1 grid 230,51
struct node 2 grid 231,51
struct node 3 grid 232,51
struct node 4 grid 233,51
struct node 5 grid 234,51
struct node 6 grid 235,51
struct node 7 grid 235,50
struct node 8 grid 236,50
struct node 9 grid 237,50
struct node 10 grid 238,50
struct node 11 grid 238,49
struct node 12 grid 239,49
struct node 13 grid 240,49
struct node 14 grid 240,48
struct node 15 grid 241,48
struct node 16 grid 242,48
struct node 17 grid 242,47
struct node 18 grid 243,47
struct node 19 grid 243,46
struct node 20 grid 244,46
struct node 21 grid 244,45
struct node 22 grid 245,45
struct node 23 grid 246,45
```

struct node 24 grid 246,44
struct node 25 grid 246,43
struct node 26 grid 247,43
struct node 27 grid 247,42
struct node 28 grid 248,42
struct node 29 grid 248,41
struct node 30 grid 248,40
struct node 31 grid 249,40
struct node 32 grid 249,39
struct node 33 grid 249,38
struct node 34 grid 250,38
struct node 35 grid 250,37
struct node 36 grid 250,36
struct node 37 grid 250,35
struct node 38 grid 251,35
struct node 39 grid 251,34
struct node 40 grid 251,33
struct node 41 grid 251,32
struct node 42 grid 251,31
struct node 43 grid 251,30
struct node 44 grid 251,29
struct node 45 grid 251,28
struct node 46 grid 251,27
struct node 47 grid 251,26
struct node 48 grid 251,25
struct node 49 grid 251,24
struct node 50 grid 251,23
struct beam begin node 1 end node 2 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 2 end node 3 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 3 end node 4 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 4 end node 5 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 5 end node 6 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 6 end node 7 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 7 end node 8 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 8 end node 9 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 9 end node 10 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 10 end node 11 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 11 end node 12 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 12 end node 13 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 13 end node 14 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 14 end node 15 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 15 end node 16 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 16 end node 17 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 17 end node 18 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 18 end node 19 seg 1 prop 1001

```
struct beam begin node 19 end node 20 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 20 end node 21 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 21 end node 22 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 22 end node 23 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 23 end node 24 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 24 end node 25 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 25 end node 26 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 26 end node 27 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 27 end node 28 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 28 end node 29 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 29 end node 30 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 30 end node 31 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 31 end node 32 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 32 end node 33 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 33 end node 34 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 34 end node 35 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 35 end node 36 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 36 end node 37 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 37 end node 38 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 38 end node 39 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 39 end node 40 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 40 end node 41 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 41 end node 42 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 42 end node 43 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 43 end node 44 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 44 end node 45 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 45 end node 46 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 46 end node 47 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 47 end node 48 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 48 end node 49 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 49 end node 50 seg 1 prop 1001
struct node 1 fix x r
set relax 0.35
app_rf
solve
set relax 0.40
app_rf
solve
set relax 0.45
app_rf
solve
set relax 0.50
app_rf
solve
set relax 0.55
```

```
app_rf
solve
set relax 0.60
app_rf
solve
set relax 0.65
app_rf
solve
set relax 0.70
app_rf
solve
set relax 0.75
app_rf
solve
set relax 0.80
app_rf
solve
set relax 0.85
app_rf
solve
set relax 0.90
app_rf
solve
;=====
;=====TIME 2 =====
;=====
; --messa in opera del rivestimento -----
; messa in opera dell'arco rovescio
;proprietà arco rovescio
struc prop 1002 a 0.70 i 0.0285 e 3.12e7 dens 2.5
struct node 51 grid 250,23
struct node 52 grid 250,22
struct node 53 grid 249,22
struct node 54 grid 248,22
struct node 55 grid 248,21
struct node 56 grid 247,21
struct node 57 grid 246,21
struct node 58 grid 246,20
struct node 59 grid 245,20
struct node 60 grid 244,20
struct node 61 grid 244,19
struct node 62 grid 243,19
struct node 63 grid 242,19
struct node 64 grid 241,19
struct node 65 grid 241,18
```

```
struct node 66 grid 240,18
struct node 67 grid 239,18
struct node 68 grid 238,18
struct node 69 grid 237,18
struct node 70 grid 237,17
struct node 71 grid 236,17
struct node 72 grid 235,17
struct node 73 grid 234,17
struct node 74 grid 233,17
struct node 75 grid 232,17
struct node 76 grid 231,17
struct node 77 grid 230,17
struct beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 60 end node 61 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 61 end node 62 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 62 end node 63 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 63 end node 64 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 64 end node 65 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 65 end node 66 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 66 end node 67 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 67 end node 68 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 68 end node 69 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 69 end node 70 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 70 end node 71 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 71 end node 72 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 72 end node 73 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 73 end node 74 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 74 end node 75 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 75 end node 76 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 76 end node 77 seg 1 prop 1002
struct node 77 fix x r
;riduzione del 98% del carico geostatico
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=0.98
```

```
app_rf
solve
;inserimento calotta
;proprietà calotta
struc prop 1003 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
struct beam begin node 1 end node 2 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 2 end node 3 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 3 end node 4 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 4 end node 5 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 5 end node 6 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 6 end node 7 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 7 end node 8 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 8 end node 9 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 9 end node 10 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 10 end node 11 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 11 end node 12 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 12 end node 13 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 13 end node 14 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 14 end node 15 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 15 end node 16 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 16 end node 17 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 17 end node 18 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 18 end node 19 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 19 end node 20 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 20 end node 21 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 21 end node 22 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 22 end node 23 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 23 end node 24 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 24 end node 25 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 25 end node 26 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 26 end node 27 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 27 end node 28 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 28 end node 29 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 29 end node 30 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 30 end node 31 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 31 end node 32 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 32 end node 33 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 33 end node 34 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 34 end node 35 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 35 end node 36 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 36 end node 37 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 37 end node 38 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 38 end node 39 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 39 end node 40 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 40 end node 41 seg 1 prop 1003
```

```
struct beam begin node 41 end node 42 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 42 end node 43 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 43 end node 44 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 44 end node 45 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 45 end node 46 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 46 end node 47 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 47 end node 48 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 48 end node 49 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 49 end node 50 seg 1 prop 1003
;riduzione del 100% del carico geostatico
set relax=1
app_rf
solve
struct beam delete 1 49
solve
```

11.2 SEZIONE TIPO A2

```
config gw ats ex 10
set g 10
grid 321,80
gen 0.0,0.0 0.0,60.0 200.0,60.0 200.0,0.0 ratio 1.0,0.89 i 1 21 j 1 19
model elastic i=1,20 j=1,18
gen 200.0,0.0 200.0,60.0 270.0,60.0 270.0,0.0 ratio 0.88,0.89 i 21 39 j 1 19
model elastic i=21,38 j=1,18
gen 270.0,0.0 270.0,60.0 330.0,60.0 330.0,0.0 ratio 1.0,0.89 i 39 99 j 1 19
model elastic i=39,98 j=1,18
gen 330.0,0.0 330.0,60.0 400.0,60.0 400.0,0.0 ratio 1.13,0.89 i 99 117 j 1 19
model elastic i=99,116 j=1,18
gen 400.0,0.0 400.0,60.0 600.0,60.0 600.0,0.0 ratio 1.0,0.89 i 117 137 j 1 19
model elastic i=117,136 j=1,18
gen 0.0,60.0 0.0,80.0 200.0,80.0 200.0,60.0 ratio 1.0,1.0 i 1 21 j 19 39
model elastic i=1,20 j=19,38
gen 200.0,60.0 200.0,80.0 270.0,80.0 270.0,60.0 ratio 0.88,1.0 i 21 39 j 19 39
model elastic i=21,38 j=19,38
gen 270.0,60.0 270.0,80.0 330.0,80.0 330.0,60.0 ratio 1.0,1.0 i 140 320 j 1 61
model elastic i=140,319 j=1,60
gen 330.0,60.0 330.0,80.0 400.0,80.0 400.0,60.0 ratio 1.13,1.0 i 99 117 j 19 39
model elastic i=99,116 j=19,38
gen 400.0,60.0 400.0,80.0 600.0,80.0 600.0,60.0 ratio 1.0,1.0 i 117 137 j 19 39
model elastic i=117,136 j=19,38
gen 0.0,80.0 0.0,140.0 200.0,140.0 200.0,80.0 ratio 1.0,1.12 i 1 21 j 39 57
model elastic i=1,20 j=39,56
gen 200.0,80.0 200.0,140.0 270.0,140.0 270.0,80.0 ratio 0.88,1.12 i 21 39 j 39 57
model elastic i=21,38 j=39,56
```

gen 270.0,80.0 270.0,140.0 330.0,140.0 330.0,80.0 ratio 1.0,1.12 i 39 99 j 39 57
model elastic i=39,98 j=39,56
gen 330.0,80.0 330.0,140.0 400.0,140.0 400.0,80.0 ratio 1.13,1.12 i 99 117 j 39 57
model elastic i=99,116 j=39,56
gen 400.0,80.0 400.0,140.0 600.0,140.0 600.0,80.0 ratio 1.0,1.12 i 117 137 j 39 57
model elastic i=117,136 j=39,56
gen 0.0,140.0 0.0,380.0 200.0,380.0 200.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 1 21 j 57 81
model elastic i=1,20 j=57,80
gen 200.0,140.0 200.0,380.0 270.0,380.0 270.0,140.0 ratio 0.88,1.0 i 21 39 j 57 81
model elastic i=21,38 j=57,80
gen 270.0,140.0 270.0,380.0 330.0,380.0 330.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 39 99 j 57 81
model elastic i=39,98 j=57,80
gen 330.0,140.0 330.0,380.0 400.0,380.0 400.0,140.0 ratio 1.13,1.0 i 99 117 j 57 81
model elastic i=99,116 j=57,80
gen 400.0,140.0 400.0,380.0 600.0,380.0 600.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 117 137 j 57 81
model elastic i=117,136 j=57,80
attach aside from 39 19 to 99 19 bside from 140 1 to 320 1
attach aside from 39 39 to 39 19 bside from 140 61 to 140 1
attach aside from 140 61 to 320 61 bside from 39 39 to 99 39
attach aside from 320 61 to 320 1 bside from 99 39 to 99 19
;Centramento della griglia
ini y add -70
ini X add -300
ini y 26.66 i 1 137 j 49
ini y 25.16 i 1 137 j 48
ini y 23.66 i 1 137 j 47
ini y 21.7 i 1 137 j 46
ini y 19.5 i 1 137 j 45
;Analisi simmetrica
model null i 1 68 j 1 18
group 'null' i 1 68 j 1 18
group delete 'null'
model null i 1 38 j 19 38
group 'null' i 1 38 j 19 38
group delete 'null'
model null i 140 229 j 1 60
group 'null' i 140 229 j 1 60
group delete 'null'
model null i 1 68 j 39 80
group 'null' i 1 68 j 39 80
group delete 'null'
;-----riduzione copertura
;-----per avere H=20 m in calotta
model null i 1 136 j 49 80
group 'null' i 1 136 j 49 80

```

group delete 'null'
;-----riduzione estensione laterale della mesh---
model null i 111 136
;===== condizioni al contorno =====
fix y i 69 111 j 1
fix x i 69 j 1 19
fix x i 230 j 1 61
fix x i 69 j 39 49
fix x i 111 j 1 49
;-----assegnazione delle proprietà del materiale
group 'User:B'
model mohr notnull group 'User:B'
prop density=2.3 bulk=22.2E5 shear=7.4E5 cohesion=240.0 friction=35.63 dilation=0.0 tension=0.0 group 'User:B'
group 'User:A' notnull i 69 110 j 47 48
model mohr notnull group 'User:A'
prop density=1.9 bulk=2.67E4 shear=1.6E4 cohesion=30.0 friction=28.0 dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:A'
set flow off
set mech on
unmark
;=====
;===== generazione della gallerie =====
;=====
;fish per registrare i punti marcati al contorno della galleria
def get_mark_back
loop i ( 1,igp)
loop j (1,jgp)
if ex_3(l,j) = 1 then
flags(i,j) = flags (l,j)+128
endif
endloop
endloop
end
;---generazione galleria
gen arc 0 7.3381 0,-4.7512 35.20762
gen line 6.97 -2.5397 6.97 0
gen arc 0.4450 0 6.97 0 56.20315
gen arc 0 -0.6648 4.0745,5.4224 35.20762
ini x 0 y -4.7512 i 230 j 17
ini x 6.97 y -2.5397 i 251 j 23
mark i 230 j 17
mark i 251 j 23
ini ex_3 = 1 mark
unmark
;=====
;=====TIME0 ; GEOSTATICO =====

```

```
=====
;----inializzazione stato di sforzo in sito
initial syy -190 var 0.0,190 i 69 110 j 47 48
initial syy -343.18 var 0.0,153.18 i 69 110 j 39 46
initial syy -803.18 var 0.0,460 i 230 319 j 1 60
initial syy -2183.18 var 0.0,1380 i 69 110 j 1 18
initial syy -803.18 var 0.0,460 i 99 110 j 19 38
;inializz tens orizzontali (k0=0.8)
initial sxx -100.800403070681 var 0.0,100.800403070681 i 69 110 j 47 48
initial sxx -274.544 var 0.0,122.544 i 69 110 j 39 46
initial sxx -642.544 var 0.0,368 i 230 319 j 1 60
initial sxx -1746.544 var 0.0,1104 i 69 110 j 1 18
initial sxx -642.544 var 0.0,368 i 99 110 j 19 38
initial szz -100.800403070681 var 0.0,100.800403070681 i 69 110 j 47 48
initial szz -274.544 var 0.0,122.544 i 69 110 j 39 46
initial szz -642.544 var 0.0,368 i 230 319 j 1 60
initial szz -1746.544 var 0.0,1104 i 69 110 j 1 18
initial szz -642.544 var 0.0,368 i 99 110 j 19 38
set flow off
set mech on
; history
history 4 unbalanced
;settaggi e fissaggi
set gravity=10.0
; verifica equilibrio
set force 2e-3
set sratio 1e-6
solve
ini xdisp 0 ydisp 0
ini xvcl 0 yvel 0
unmark
call fse$.fis
get_mark_back
;scavo galleria
model null region 233 26
group 'null' region 233 26
group delete 'null'
fix x y mark
step 100
;stato di sforzo litostatico sul contorno della galleria
find_rf
set force 0.005
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvcl 0 yvel 0
```

```
;libero i punti sul contorno di scavo
free x y mark
fix x i 230 j 17
fix x i 230 j 51
;---rilascio del 30% del carico litostatico
set relax=0.05
app_rf
set force 0.1
;calotta
history 5 ydisp i=230 j=51
history 6 szz i=230 j=51
;pedritto
history 7 xdisp i=251 j=31
history 8 sxx i=251 j=31
;arco rovescio
;pedritto
history 9 ydisp i=230 j=17
history 10 syy i=230 j=16
solve
set relax 0.1
app_rf
solve
set relax 0.15
app_rf
solve
set relax 0.20
app_rf
solve
set relax 0.25
app_rf
solve
set relax 0.30
app_rf
solve
;messa in opera centine+spritz
struct prop 1001 a 0.276 i 0.00143 e 3.12e7 dens 2.2
struct node 1 grid 230,51
struct node 2 grid 231,51
struct node 3 grid 232,51
struct node 4 grid 233,51
struct node 5 grid 234,51
struct node 6 grid 235,51
struct node 7 grid 235,50
struct node 8 grid 236,50
struct node 9 grid 237,50
```

struct node 10 grid 238,50
struct node 11 grid 238,49
struct node 12 grid 239,49
struct node 13 grid 240,49
struct node 14 grid 240,48
struct node 15 grid 241,48
struct node 16 grid 242,48
struct node 17 grid 242,47
struct node 18 grid 243,47
struct node 19 grid 243,46
struct node 20 grid 244,46
struct node 21 grid 244,45
struct node 22 grid 245,45
struct node 23 grid 246,45
struct node 24 grid 246,44
struct node 25 grid 246,43
struct node 26 grid 247,43
struct node 27 grid 247,42
struct node 28 grid 248,42
struct node 29 grid 248,41
struct node 30 grid 248,40
struct node 31 grid 249,40
struct node 32 grid 249,39
struct node 33 grid 249,38
struct node 34 grid 250,38
struct node 35 grid 250,37
struct node 36 grid 250,36
struct node 37 grid 250,35
struct node 38 grid 251,35
struct node 39 grid 251,34
struct node 40 grid 251,33
struct node 41 grid 251,32
struct node 42 grid 251,31
struct node 43 grid 251,30
struct node 44 grid 251,29
struct node 45 grid 251,28
struct node 46 grid 251,27
struct node 47 grid 251,26
struct node 48 grid 251,25
struct node 49 grid 251,24
struct node 50 grid 251,23
struct beam begin node 1 end node 2 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 2 end node 3 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 3 end node 4 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 4 end node 5 seg 1 prop 1001

struct beam begin node 5 end node 6 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 6 end node 7 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 7 end node 8 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 8 end node 9 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 9 end node 10 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 10 end node 11 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 11 end node 12 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 12 end node 13 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 13 end node 14 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 14 end node 15 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 15 end node 16 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 16 end node 17 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 17 end node 18 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 18 end node 19 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 19 end node 20 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 20 end node 21 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 21 end node 22 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 22 end node 23 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 23 end node 24 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 24 end node 25 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 25 end node 26 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 26 end node 27 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 27 end node 28 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 28 end node 29 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 29 end node 30 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 30 end node 31 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 31 end node 32 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 32 end node 33 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 33 end node 34 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 34 end node 35 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 35 end node 36 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 36 end node 37 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 37 end node 38 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 38 end node 39 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 39 end node 40 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 40 end node 41 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 41 end node 42 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 42 end node 43 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 43 end node 44 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 44 end node 45 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 45 end node 46 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 46 end node 47 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 47 end node 48 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 48 end node 49 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 49 end node 50 seg 1 prop 1001

```
struct node 1 fix x r
set relax 0.35
app_rf
solve
set relax 0.40
app_rf
solve
set relax 0.45
app_rf
solve
set relax 0.50
app_rf
solve
set relax 0.55
app_rf
solve
set relax 0.60
app_rf
solve
set relax 0.65
app_rf
solve
set relax 0.70
app_rf
solve
set relax 0.75
app_rf
solve
;=====
;=====TIME 2=====
;=====
; --messa in opera del rivestimento -----
; messa in opera dell'arco rovescio
;proprietà arco rovescio
struc prop 1002 a 0.70 i 0.0285 e 3.12e7 dens 2.5
struct node 51 grid 250,23
struct node 52 grid 250,22
struct node 53 grid 249,22
struct node 54 grid 248,22
struct node 55 grid 248,21
struct node 56 grid 247,21
struct node 57 grid 246,21
struct node 58 grid 246,20
struct node 59 grid 245,20
struct node 60 grid 244,20
```

struct node 61 grid 244,19
struct node 62 grid 243,19
struct node 63 grid 242,19
struct node 64 grid 241,19
struct node 65 grid 241,18
struct node 66 grid 240,18
struct node 67 grid 239,18
struct node 68 grid 238,18
struct node 69 grid 237,18
struct node 70 grid 237,17
struct node 71 grid 236,17
struct node 72 grid 235,17
struct node 73 grid 234,17
struct node 74 grid 233,17
struct node 75 grid 232,17
struct node 76 grid 231,17
struct node 77 grid 230,17
struct beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 60 end node 61 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 61 end node 62 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 62 end node 63 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 63 end node 64 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 64 end node 65 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 65 end node 66 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 66 end node 67 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 67 end node 68 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 68 end node 69 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 69 end node 70 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 70 end node 71 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 71 end node 72 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 72 end node 73 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 73 end node 74 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 74 end node 75 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 75 end node 76 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 76 end node 77 seg 1 prop 1002
struct node 77 fix x r

```
;riduzione dell'84% del carico geostatico
set relax 0.80
app_rf
solve
set relax 0.84
app_rf
solve
;inserimento calotta
;proprietà calotta
struc prop 1003 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
struct beam begin node 1 end node 2 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 2 end node 3 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 3 end node 4 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 4 end node 5 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 5 end node 6 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 6 end node 7 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 7 end node 8 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 8 end node 9 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 9 end node 10 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 10 end node 11 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 11 end node 12 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 12 end node 13 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 13 end node 14 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 14 end node 15 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 15 end node 16 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 16 end node 17 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 17 end node 18 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 18 end node 19 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 19 end node 20 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 20 end node 21 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 21 end node 22 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 22 end node 23 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 23 end node 24 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 24 end node 25 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 25 end node 26 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 26 end node 27 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 27 end node 28 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 28 end node 29 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 29 end node 30 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 30 end node 31 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 31 end node 32 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 32 end node 33 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 33 end node 34 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 34 end node 35 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 35 end node 36 seg 1 prop 1003
```

```
struct beam begin node 36 end node 37 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 37 end node 38 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 38 end node 39 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 39 end node 40 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 40 end node 41 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 41 end node 42 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 42 end node 43 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 43 end node 44 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 44 end node 45 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 45 end node 46 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 46 end node 47 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 47 end node 48 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 48 end node 49 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 49 end node 50 seg 1 prop 1003
;riduzione del 100% del carico geostatico
set relax 0.90
app_rf
solve
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=1
app_rf
solve
struct beam delete 1 49
solve
```