

S.S.N.318 DI VALFABBRICA

Tratto Valfabbrica-Schifanoia - Interventi di completamento dal Km 16+224 al Km 19+354
 Lotto 5 : 1 stralcio parte B: raddoppio galleria Picchiarella e viadotto Tre Vescovi
 2 stralcio: raddoppio galleria Casacastalda e viadotto Calvario

PROGETTO ESECUTIVO

COD. PG131 - PG6

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 Carlacchini
 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 PICCHIARELLA
 Relazione tecnica di calcolo**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

D P P G 0 8 E 1 7 0 1

P00-GN01-OST-RE02-A

CODICE ELAB. P 0 0 G N 0 1 O S T R E 0 2

A

-

A

Emissione

25/10/2017

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 ZONE DI IMBOCCO E DI FAGLIA.....	10
6.2 ANALISI ZONA A BASSA-MEDIA COPERTURA.....	11
6.3 ANALISI ZONA DI MASSIMA COPERTURA.....	12
7. DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO.....	14
7.1 SEZIONE TIPO B1.....	14
7.2 SEZIONE TIPO B2.....	14
7.3 SEZIONE TIPO B3.....	15
8. ANALISI DI INTERAZIONE STRUTTURE-TERRENO.....	16
8.1 IMPOSTAZIONE DELLE ANALISI NUMERICHE.....	16
8.2 SEZIONE TIPO B1.....	16
8.3 SEZIONE TIPO B2.....	20
9. VERIFICHE STRUTTURALI	25
9.1 CRITERI DI VERIFICA	25
9.2 VERIFICA SEZIONE TIPO B1.....	26
9.2.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton).....	27
9.2.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)	27

9.2.3 Rivestimento definitivo (calotta)	28
9.3 VERIFICA SEZIONE TIPO B2.....	29
9.3.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton).....	29
9.3.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)	30
9.3.3 Rivestimento definitivo (calotta)	31
10. MONITORAGGIO.....	33
11. TABULATI DI INPUT FLAC 5.0.....	34
11.1 SEZIONE TIPO B1.....	34
11.2 SEZIONE TIPO B2.....	58

1. PREMESSA

Nella presente relazione vengono descritte le problematiche progettuali e gli aspetti tecnici nell'ambito del Progetto Esecutivo della galleria naturale Picchiarella, asse sinistro, facente parte della S.S.N.318 di Valfabbrica, Tratto Valfabbrica-Schifanoia – Interventi di completamento dal km 16+224 al km 19+354 lotto 5 – I e II stralcio.

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 il dimensionamento degli interventi previsti.

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria naturale in oggetto misura 873 m, compresa tra le progressive pk 16+508.62 e pk 17+283.35. Le dime ai due imbocchi (ovest lato Perugia ed Est lato Ancona) hanno lunghezze pari a 5 m.

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 3.50 m ciascuna, una banchina in destra di larghezza 1.75 m e una banchina in sinistra di larghezza 0.50 m.

La sagoma tipo della galleria presenta una geometria policentrica; laddove la sezione è cilindrica, l'area di scavo è pari a circa 120 mq; agli imbocchi, dove è previsto l'utilizzo di sezioni troncoconiche, l'area di scavo è compresa tra 120 e 140 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	$f_{yk} = 391.30 \text{ MPa}$



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

S.S. 318 DI VALFABBRICA
Tratto Valfabbrica-Schifanoia - Interventi di completamento dal Km 16+224 al Km 19+354
Lotto 5: 1° stralcio parte B: raddoppio galleria Picchiarella e viadotto Tre Vescovi
2° stralcio: raddoppio galleria Casacastalda e viadotto Calvario

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO

Modulo elastico

$E_s = 210000 \text{ MPa}$

MANDATARIA



MANDANTE



7 di 82

5. MODELLO GEOTECNICO

Lo scavo della galleria avviene per la quasi totalità nell'unità geotecnica B (formazione marnoso arenacea, cfr. Relazione geologica e Relazione geotecnica della galleria). Nei primi metri di profondità dal piano campagna, non interessati direttamente dallo scavo della galleria, si incontra uno strato di limi argillosi a tratti debolmente sabbiosi, identificato come unità geotecnica A.

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 delle zone in cui la copertura supera i 24 metri nelle quali l'ammasso roccioso presenta migliori caratteristiche meccaniche (zone di alta copertura) e delle zone di bassa e media copertura. Ad esse si aggiungono le zone in faglia. Vista la vicinanza di tali zone ai tratti di imbocco, ai fini della determinazione delle sezioni tipo, sono stati utilizzati i parametri caratteristici di faglia con basse coperture.

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

Tabella 1: Modello geotecnico.

Zona	Unità geotecnica	σ_c (MPa)	GSI	Copertura (m)	c' (kPa)	φ' (°)	E' (MPa)
Massima copertura	B1a	14	44	43	182	30.5	1700
Massima copertura		14	44	24	133	34.5	1700
Bassa-media copertura	B1b	10	23	24	63	21	400
Bassa-media copertura		10	23	12	44	24.6	400
Imbocchi - Faglia	B faglia	7	20	10	32	21.2	300

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 (P00-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 ZONE DI IMBOCCO E DI FAGLIA

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla zona di imbocco lato ovest (Lato Perugia), 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 3 riporta i risultati del calcolo dal quale si evince che il fronte risulta instabile ($q_{t,d}$ positivo). Per le zone di imbocco e 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 2: Stabilità fronte di scavo zone di imbocco e zone di faglia.

Dati Galleria		
Area	120.87	m ²
Diametro equivalente	12.41	m

Profondità centro - H	16.2	m
Parametri caratteristici		
c'_k	32	kPa
φ'_k	21.2	°
γ	24	kPa
Sovraccarico		
q_s	0	kPa
Parametri geometrici		
H	16	m
a	6	m
a/H	0.38	-
Parametri di calcolo		
c'_d	25.6	kPa
φ'_d	17.2	°
$q_{s,d}$	0	kPa
N	1.84	-
Q_s	0.20	-
Q_y	1.0	-
$q_{t,d}$	75.3	kPa

Tale pressione di stabilizzazione è garantita mediante l'impiego di n. 90 barre in VTR di lunghezza 20 m e sovrapposizione 12 m.

6.2 ANALISI ZONA A BASSA-MEDIA COPERTURA

Il calcolo è stato condotto con riferimento alla zona di minore copertura nella galleria posta al km 16+750 circa, 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). Anche nelle zone di bassa e media copertura, 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 zone di bassa e media copertura.

Dati Galleria		
Area	120.87	m ²
Diametro equivalente	12.41	m
Profondità centro - H	18.2	m
Parametri caratteristici		
c'_k	44.0	kPa
φ'_k	24.6	°
γ	24	kPa
Sovraccarico		

q_s	0	kPa
Parametri geometrici		
H	18.0	m
a	6	m
a/H	0.34	-
Parametri di calcolo		
c'_d	35.2	kPa
φ'_d	20.1	°
$q_{s,d}$	0	kPa
N	2.05	-
Q_s	0.10	-
Q_y	0.9	-
$q_{t,d}$	40.5	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	120.87	m ²
Diametro equivalente	12.41	m
Profondità centro - H	30.2	m
Parametri caratteristici		
c'_k	133.0	kPa
φ'_k	34.5	°
γ	24	kPa
Sovraccarico		
q_s	0	kPa
Parametri geometrici		
H	30	m
a	6	m
a/H	0.21	-
Parametri di calcolo		
c'_d	133	kPa
φ'_d	34.5	°

PROGETTO ESECUTIVO**RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO**

$q_{s,d}$	0	kPa
N	3.61	-
Q_s	0.00	-
Q_y	0.2	-
$q_{t,d}$	-158.2	kPa

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 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-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 20 m;
- calotta in calcestruzzo armato di spessore pari a 60 cm realizzata ad una distanza dal fronte di scavo non superiore a 40 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 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-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 pari a 60 cm eseguita ad una distanza dal fronte non superiore a 22.5 m.

Questa sezione viene impiegata principalmente alle basse e alle medie coperture in presenza della sotto-unità B1b.

7.3 SEZIONE TIPO B3

La sezione tipo B3 è costituita da:

- n. 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L=30.0 m con sovrapposizione 6.0 m;
- pre-sostegno costituito da n. 37 tubi in acciaio $\phi 127$, sp=10 mm, lunghezza L=12 m e sovrapposizione pari a 4 m;
- pre-consolidamento del fronte mediante la messa in opera di n. 90 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 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 variabile tra 60 e 125 cm eseguita ad una distanza dal fronte non superiore a 24 m.

Questa sezione viene impiegata principalmente nelle zone di imbocco e di faglia.

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 rada 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*.

8.2 SEZIONE TIPO B1

Per la sezione B1 è stata condotta l'analisi in corrispondenza di una copertura di 35 m. Vengono modellate entrambe le gallerie per portare in conto lo stato tensionale perturbato nel quale viene scavata la canna in progetto.

L'ammasso è stato caratterizzato con i parametri di resistenza riportati in Tabella 1 in riferimento alla copertura di 35 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 della galleria esistente (condizioni di ante-operam) e del successivo scavo della nuova galleria.

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

- **TIME 0** – Geostatico: viene ricostruita in termini di tensioni la situazione anteriore alla realizzazione della galleria esistente;
- **TIME 1** – Scavo al fronte della galleria esistente: viene eseguito lo scavo della galleria esistente, si applica un rilascio pari $\lambda=0.30$;
- **TIME 2** – Installazione del pre-rivestimento della galleria esistente: 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 $\lambda=0.80$;
- **TIME 3** – Realizzazione arco rovescio e murette della galleria esistente: viene simulata la realizzazione dell'arco rovescio mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.90$;

- TIME 4 – Realizzazione della calotta della galleria esistente: 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 della galleria esistente: si simula il decadimento delle proprietà del pre-rivestimento eliminando gli elementi corrispondenti.
- TIME 6 – Scavo al fronte della nuova galleria: viene eseguito lo scavo della galleria esistente, si applica un rilascio pari $\lambda=0.30$;
- TIME 7 – Installazione del pre-rivestimento della nuova galleria: 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 $\lambda=0.80$;
- TIME 8 – Realizzazione arco rovescio e murette della nuova galleria: viene simulata la realizzazione dell’arco rovescio mediante l’inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.90$;
- TIME 9 – Realizzazione della calotta della nuova galleria: viene simulata la realizzazione della calotta mediante l’inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=1$;
- TIME 10 – Decadimento proprietà rivestimento provvisorio della nuova galleria: si simula il decadimento delle proprietà del pre-rivestimento eliminando gli elementi corrispondenti.

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

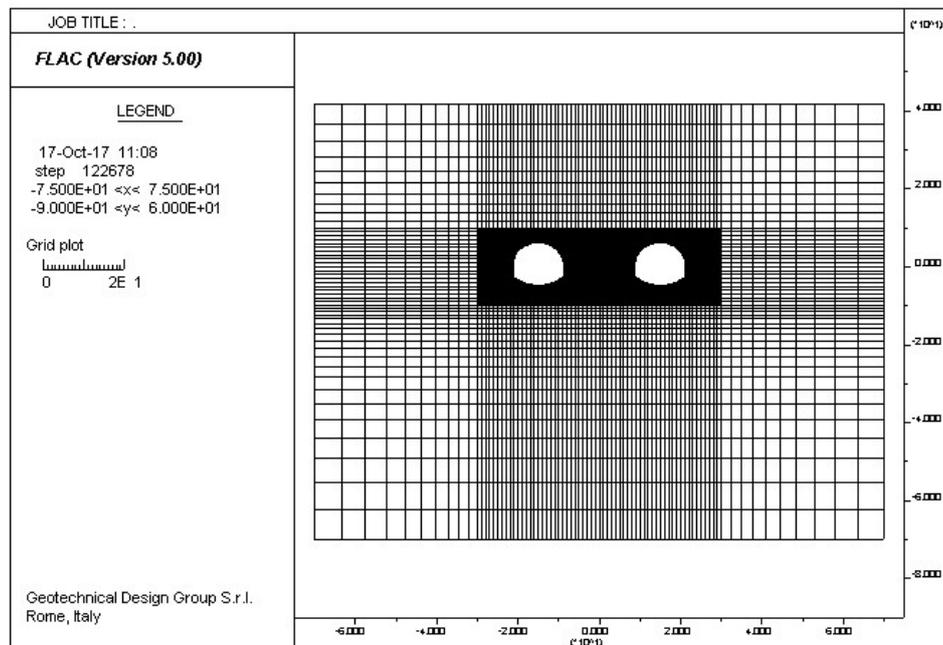


Figura 1: Sezione tipo B1, geometria della *mesh* dell’analisi numerica.

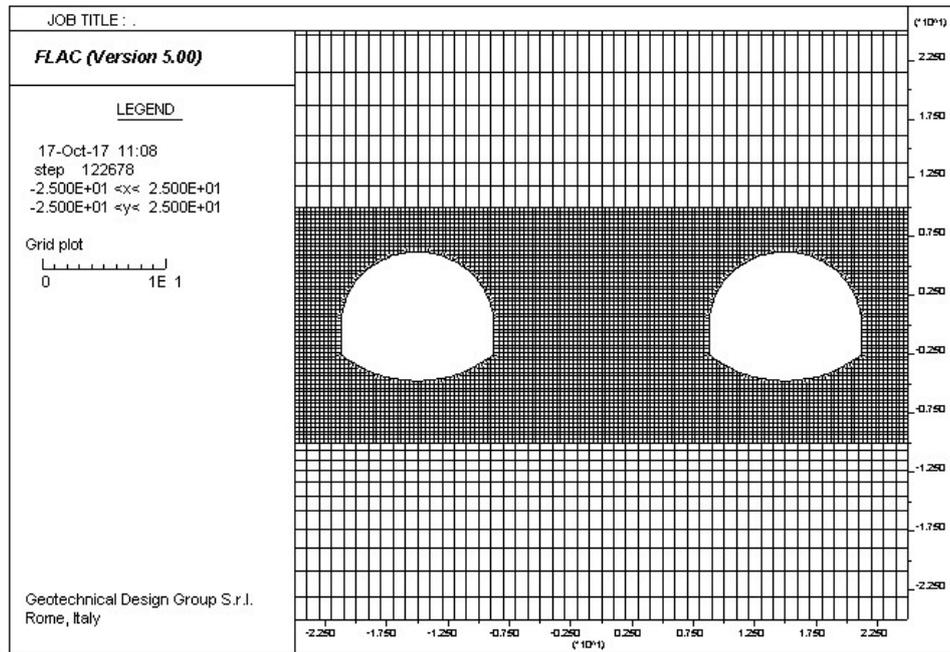


Figura 2: Sezione tipo B1, dettaglio della geometria della *mesh* nell'intorno delle gallerie, quella esistente in sinistra e la nuova in destra.

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

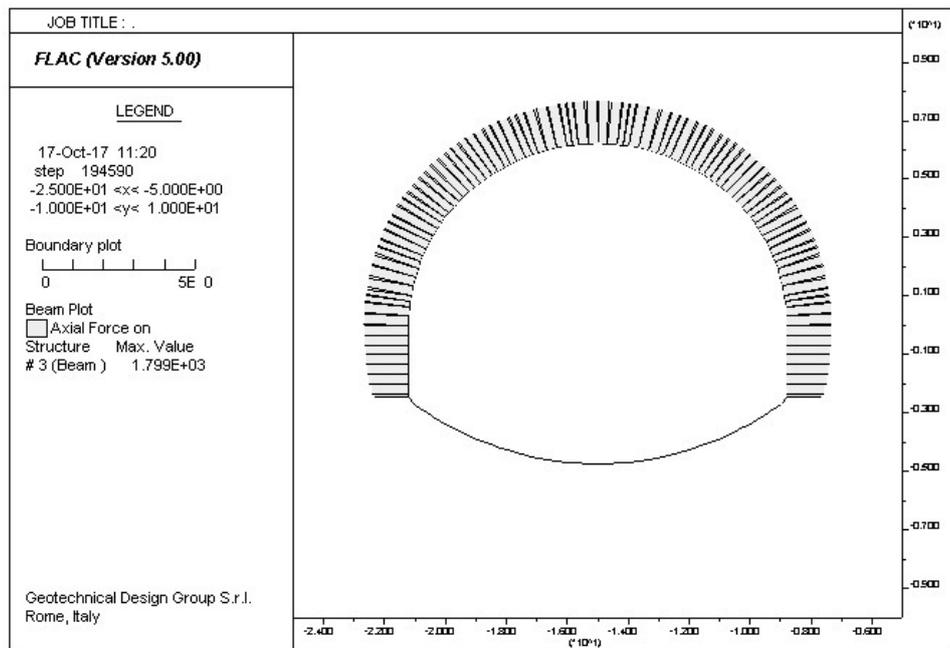


Figura 3: Sezione tipo B1, sforzo normale sul prerivestimento centine+spritz.

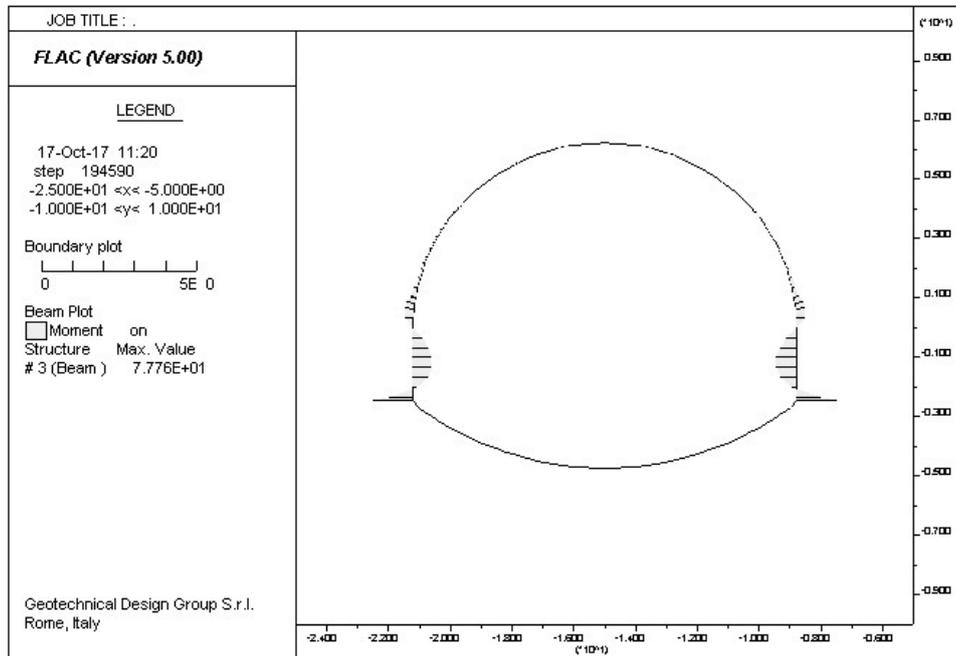


Figura 4: Sezione tipo B1, momento flettente sul preinvestimento centine+spritz.

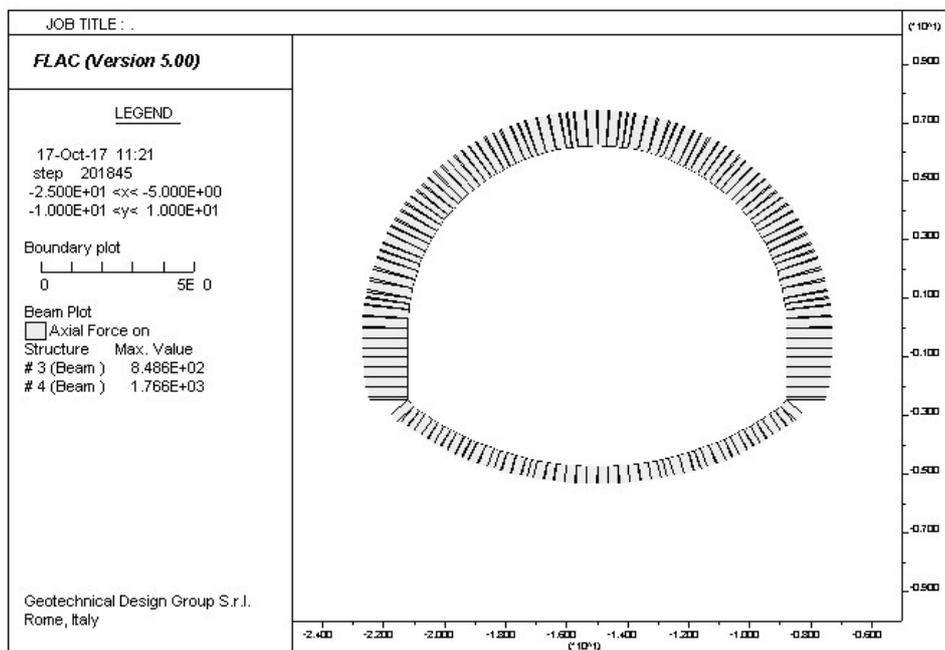


Figura 5: Sezione tipo B1, sforzo normale sul rivestimento definitivo.

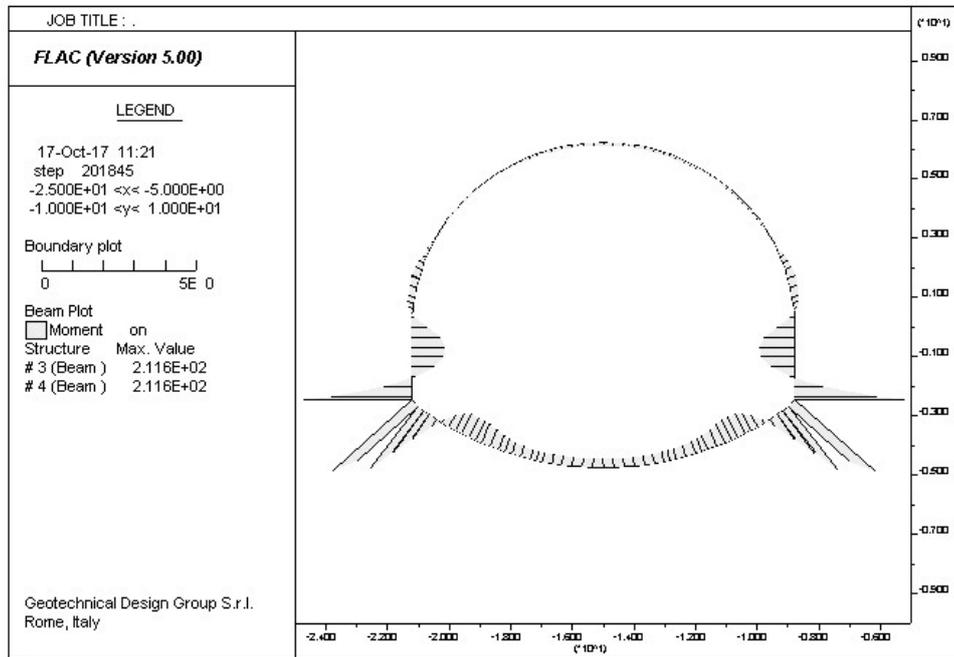


Figura 6: Sezione tipo B1, momento flettente sul rivestimento definitivo.

8.3 SEZIONE TIPO B2

Per la sezione B2 è stata condotta l'analisi in corrispondenza della copertura pari a 24 m. Vengono modellate entrambe le gallerie per portare in conto lo stato tensionale perturbato nel quale viene scavata la canna in progetto.

L'ammasso è stato caratterizzato con i parametri di resistenza riportati in Tabella 1 in riferimento alla copertura di 24 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 anteriore alla realizzazione della galleria esistente;
- TIME 1 – Scavo al fronte della galleria esistente: viene eseguito lo scavo della galleria esistente, si applica un rilascio pari $\lambda=0.30$;
- TIME 2 – Installazione del pre-rivestimento della galleria esistente: 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 della galleria esistente: viene simulata la realizzazione dell'arco rovescio mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.82$;
- TIME 4 – Realizzazione della calotta della galleria esistente: 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 della galleria esistente: si simula il decadimento delle proprietà del pre-rivestimento eliminando gli elementi corrispondenti.
- TIME 6 – Scavo al fronte della nuova galleria: viene eseguito lo scavo della galleria esistente, si applica un rilascio pari $\lambda=0.30$;
- TIME 7 – Installazione del pre-rivestimento della nuova galleria: 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 8 – Realizzazione arco rovescio e murette della nuova galleria: viene simulata la realizzazione dell'arco rovescio mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.82$;
- TIME 9 – Realizzazione della calotta della nuova galleria: viene simulata la realizzazione della calotta mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=1$;
- TIME 10 – Decadimento proprietà rivestimento provvisorio della nuova galleria: si simula il decadimento delle proprietà del pre-rivestimento eliminando gli elementi corrispondenti.

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

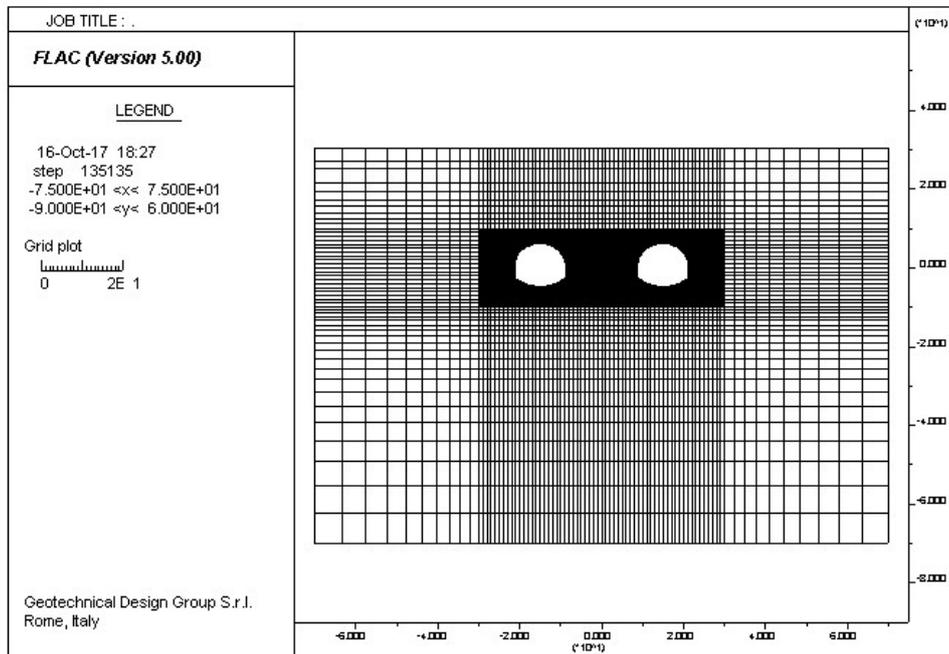


Figura 7: Sezione tipo B2, geometria della *mesh* dell'analisi numerica.

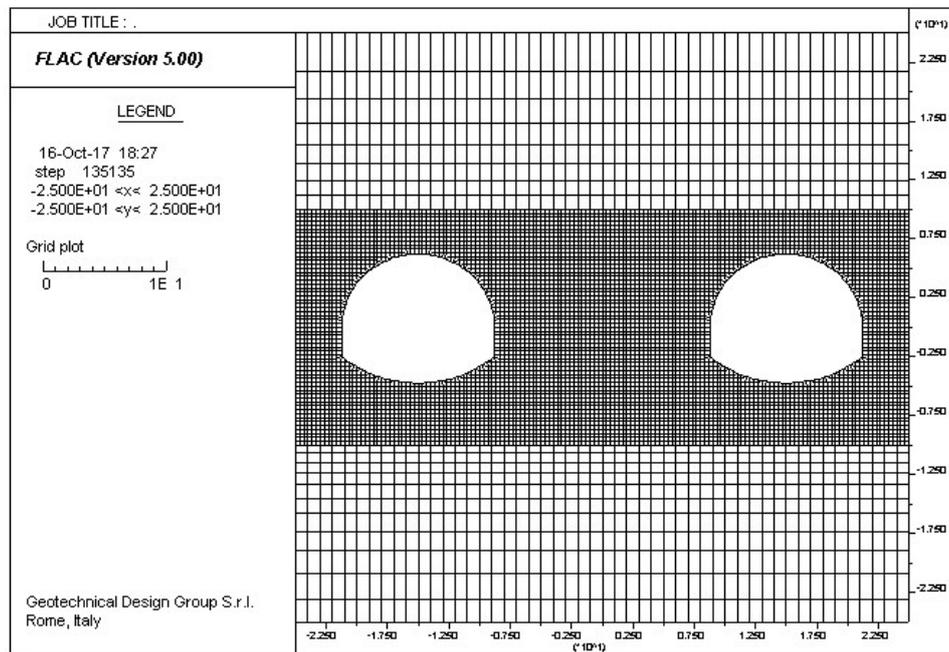


Figura 8: Sezione tipo B2, dettaglio della geometria della *mesh* nell'intorno della galleria.

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.

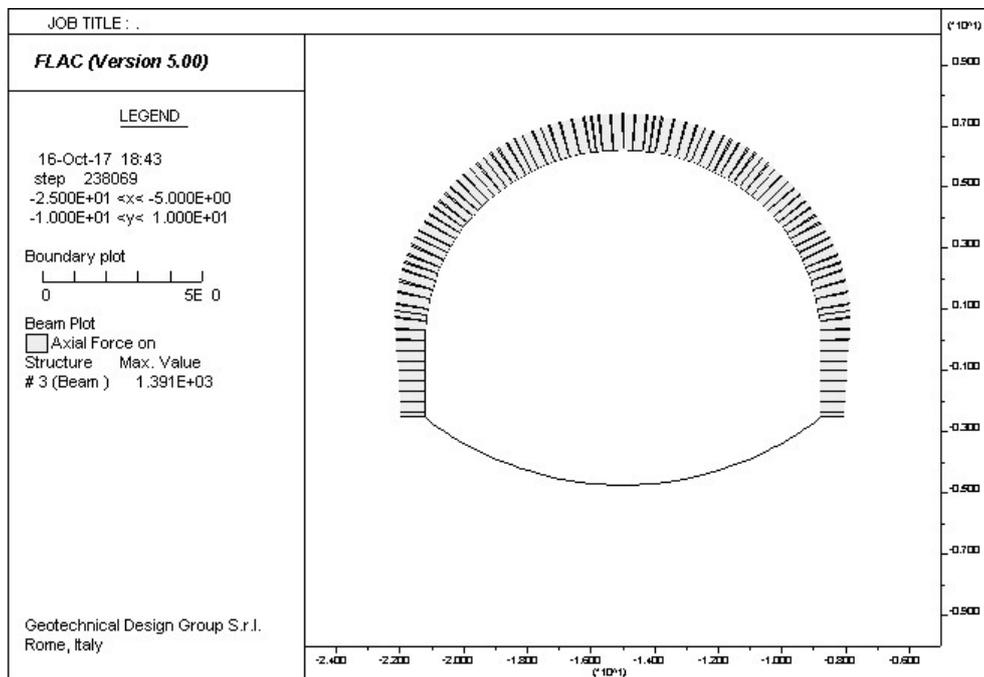


Figura 9: Sezione tipo B2, sforzo normale sul prerivestimento centine+spritz.

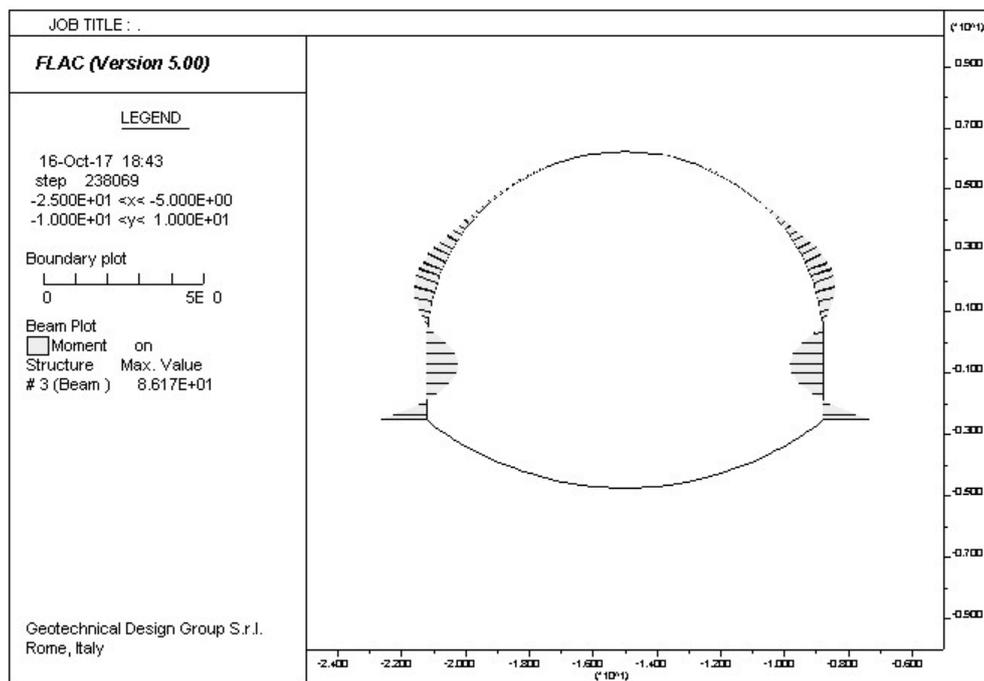


Figura 10: Sezione tipo B2, momento flettente sul prerivestimento centine+spritz.

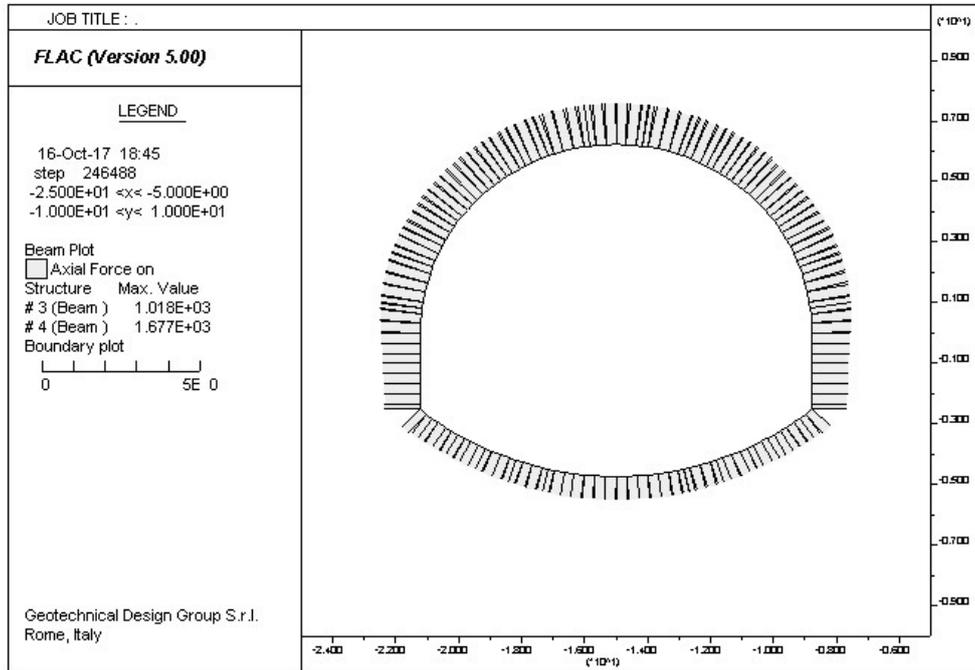


Figura 11: Sezione tipo B2, sforzo normale sul rivestimento definitivo.

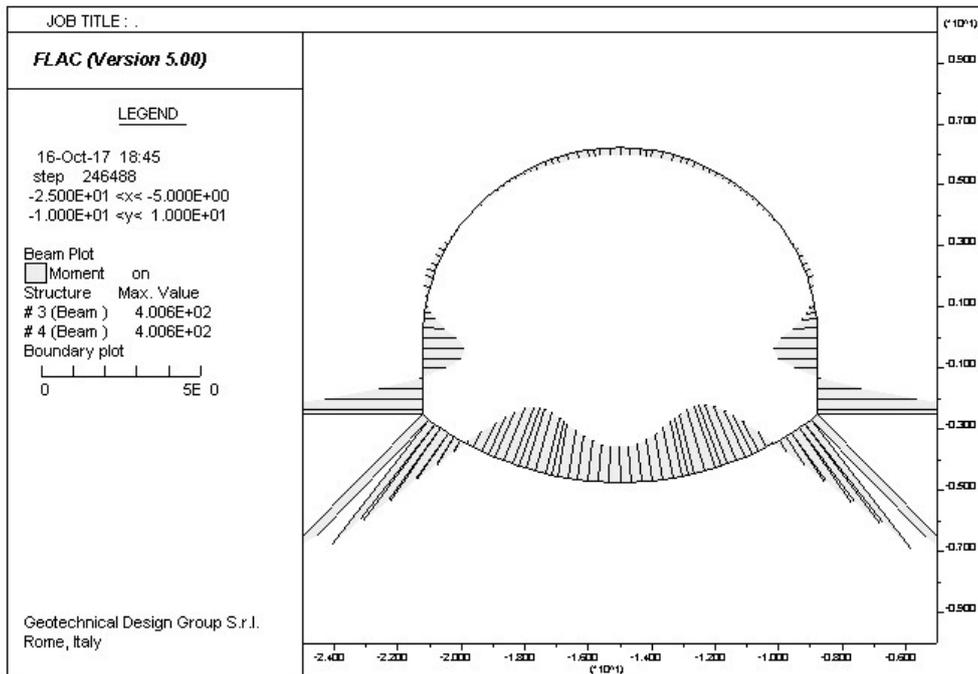


Figura 12: Sezione tipo B2, momento flettente sul rivestimento definitivo.

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 5 – cfr. Tabella 6.2.I NTC 2008).

Tabella 5: 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 6 (cfr. Tabella 6, 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 7 e Tabella 8 (cfr. Tab. C4.1.II e C4.1.III, Circ. 02/02/09 n. 617).

Tabella 6: 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 7: 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 8: 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 B1

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:

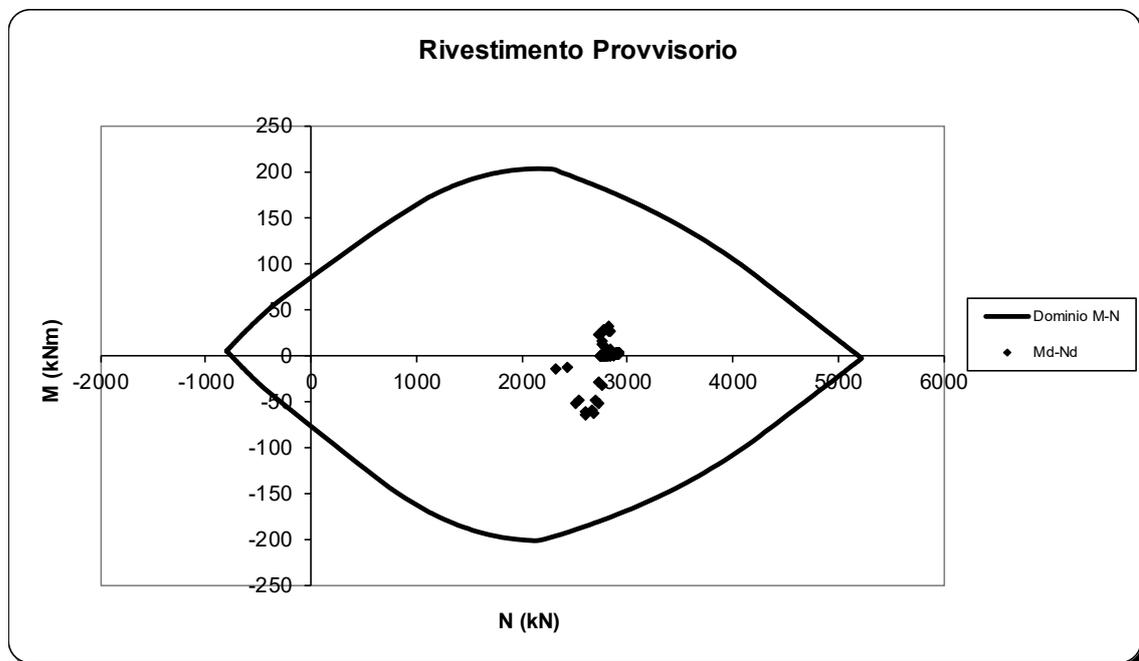


Figura 13: Sezione tipo B1, dominio di resistenza SLU del rivestimento provvisorio.

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.

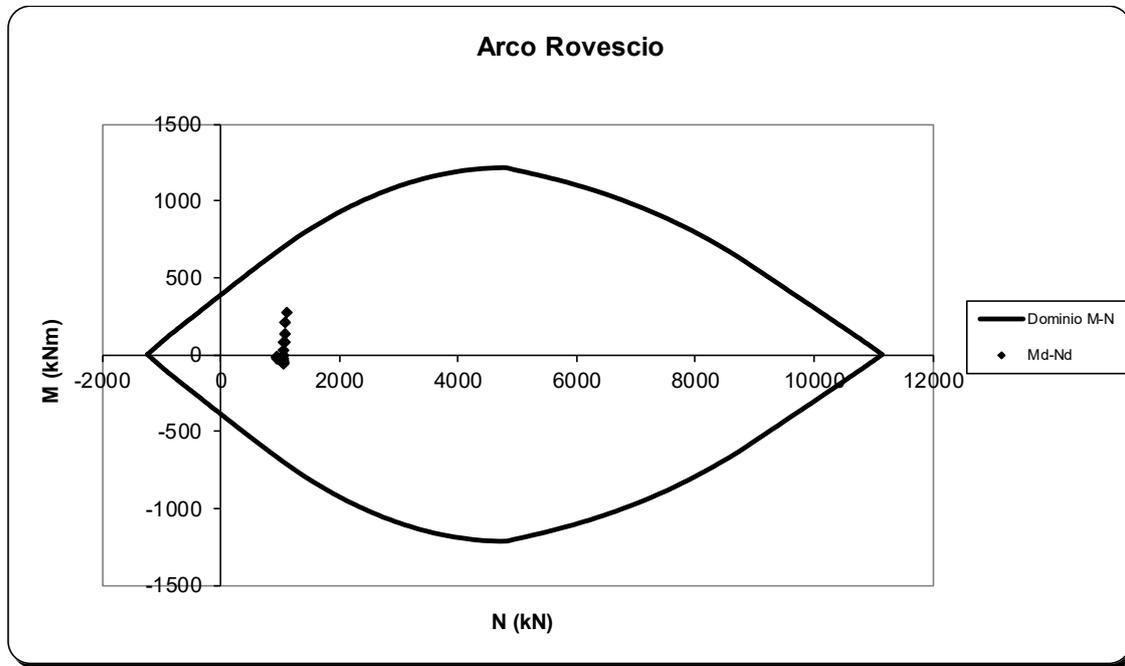


Figura 14: Sezione tipo B1, dominio di resistenza SLU dell'arco rovescio.

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 9: Sezione tipo B1, 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	835	106.9	-	2.354	-

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.

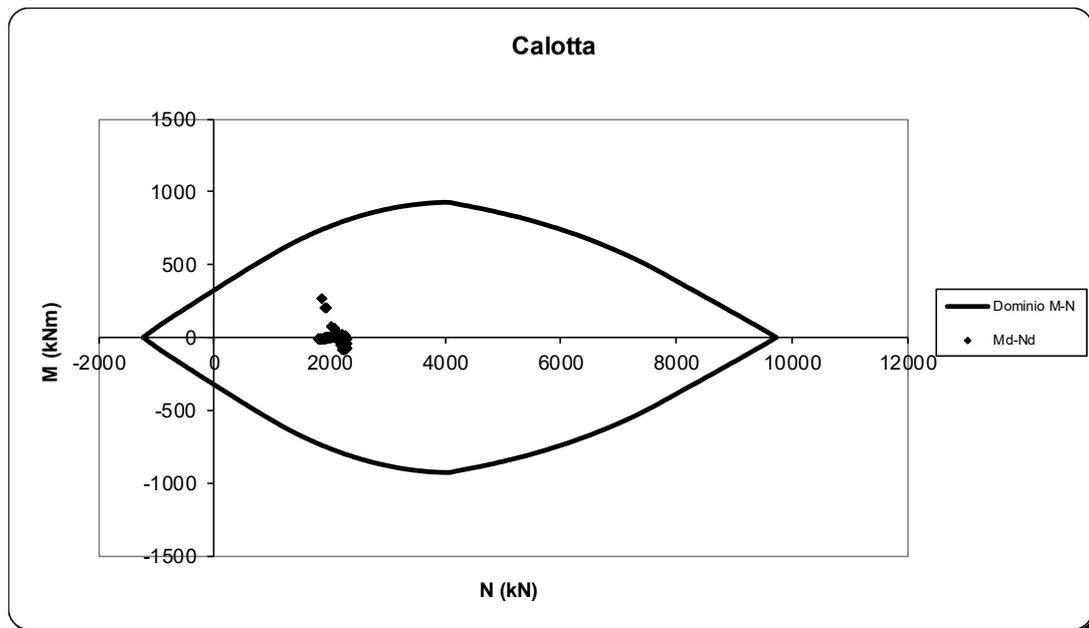


Figura 15: Sezione tipo B1, dominio di resistenza SLU della calotta.

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 10: 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	1602	51.6	-	2.70	-

La sezione risulta interamente compressa.

9.3 VERIFICA SEZIONE TIPO B2

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:

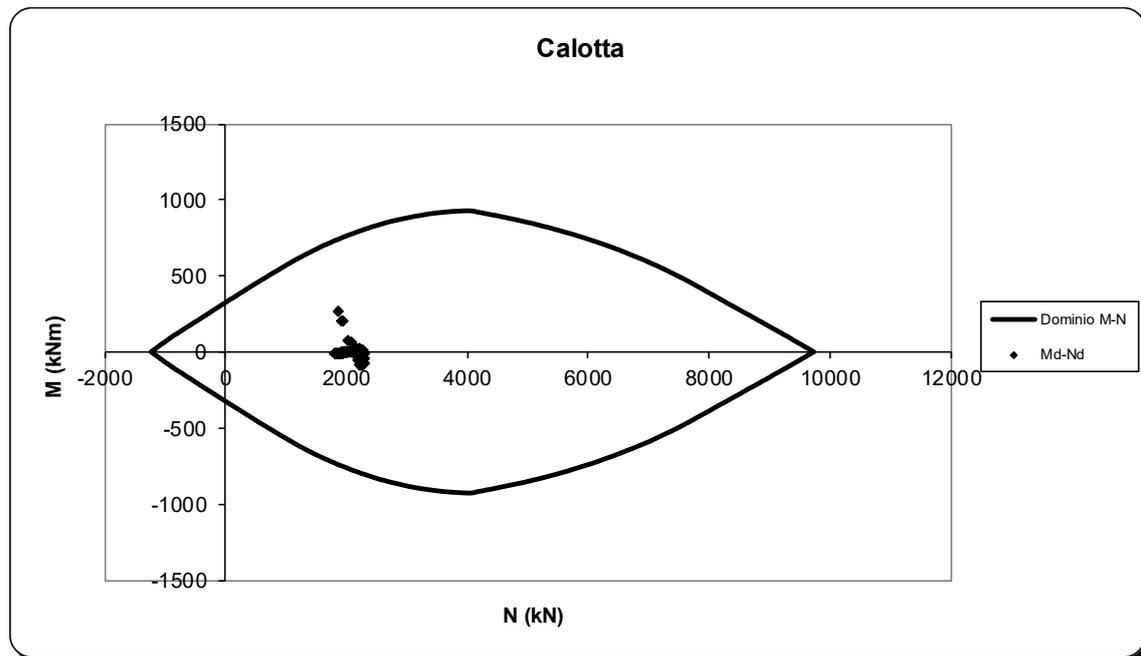


Figura 16: Sezione tipo B2, dominio di resistenza SLU del rivestimento provvisorio.

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.

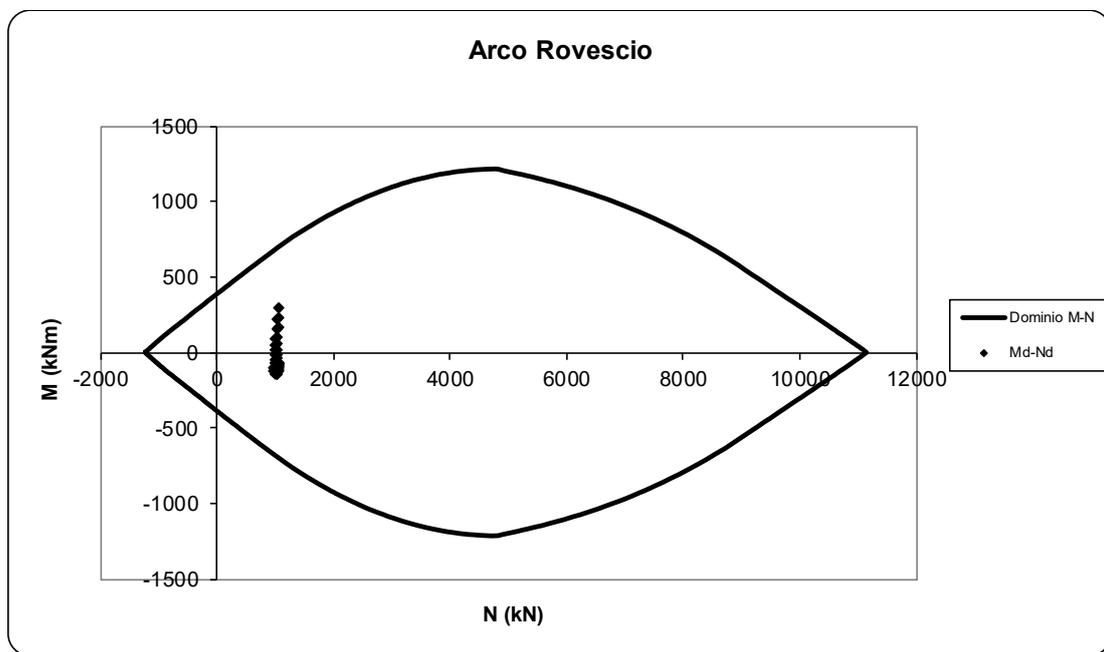


Figura 17: Sezione tipo B2, dominio di resistenza SLU dell'arco rovescio.

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 11: 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	810	176.8	-	2.28	-

La sezione risulta parzialmente tesa: si procede alla verifica a fessurazione secondo le disposizioni date al 9.1.

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

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

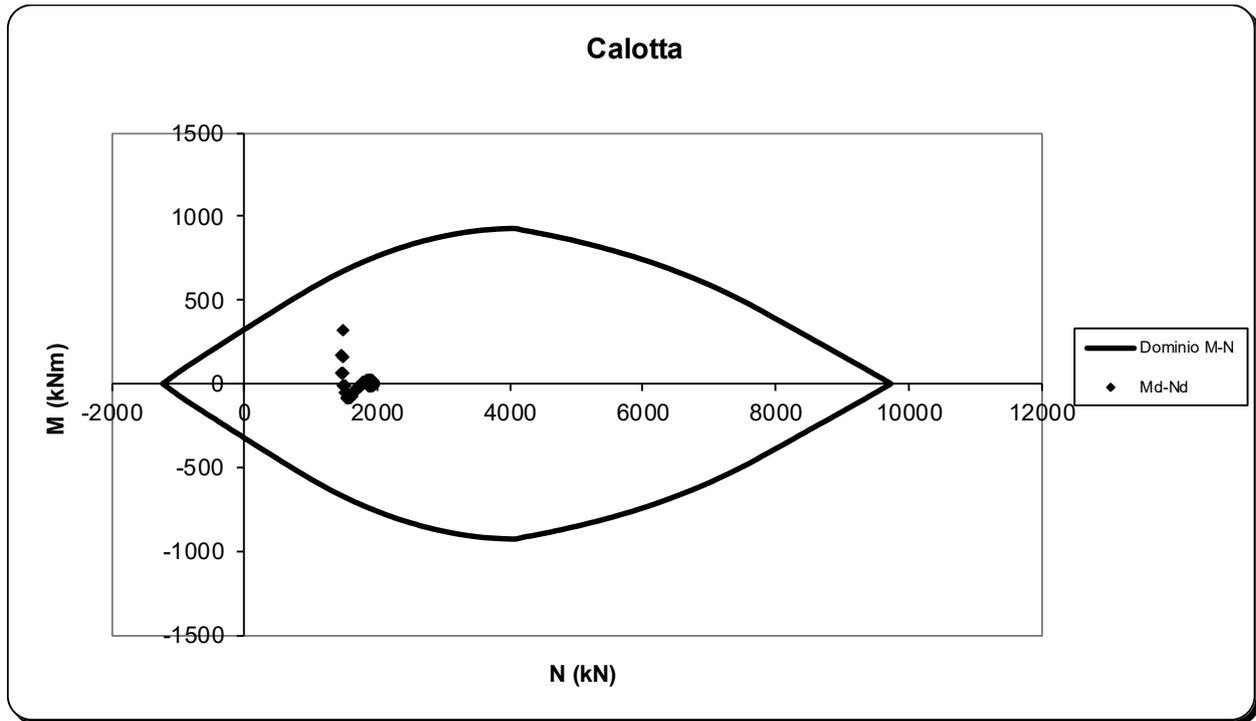


Figura 18: Sezione tipo B2, dominio di resistenza SLU della calotta.

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 12: 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	1133	123.8	-	3.62	-

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 sezioni di monitoraggio *standard*, caratterizzate dalla sola misura delle convergenze, e stazioni di misura speciali le quali, oltre la misura delle convergenze, sono caratterizzate dalla presenza di barrette estensimetriche 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 B1

```
config gwflow ats extra 10
g 280 60
m e
m n i 81 100
m n i 1 81 j 51 61
m n i 11 70 j 21 40
gen -70,-70 -70,-10 -30,-10 -30,-70 i 1 11 j 1 21 ratio 0.88,0.88
gen -70,-10 -70,10 -30,10 -30,-10 i 1 11 j 21 41 ratio 0.88,1
gen -70,10 -70,41.65 -30,41.65 -30,10 i 1 11 j 41 51 ratio 0.88,1.12
gen -30,10 -30,41.65 30,41.65 30,10 i 11 71 j 41 51 ratio 1,1.12
gen -30,-70 -30,-10 30,-10 30,-70 i 11 71 j 1 21 ratio 1,0.88
gen 30,10 30,41.65 70,41.65 70,10 i 71 81 j 41 51 ratio 1.12,1.12
gen 30,-10 30,10 70,10 70,-10 i 71 81 j 21 41 ratio 1.12, 1
gen 30,-70 30,-10 70,-10 70,-70 i 71 81 j 1 21 ratio 1.12, 0.88
gen -30,-10 -30,10 30,10 30,-10 i 101 281 j 1,61
attach aside from 11,41 to 11,21 bside from 101,61 to 101,1
attach aside from 101,61 to 281,61 bside from 11,41 to 71,41
attach aside from 281,61 to 281,1 bside from 71,41 to 71,21
attach aside from 101,1 to 281,1 bside from 11,21 to 71,21
gen line -80,36.65 80,36.65
unmark
fix x i 1
fix x i 81
fix y i 1 81 j 1
group 'User:B'
model mohr notnull group 'User:B'
prop density=2.5 bulk=5.74E6 shear=5.93e5 cohesion=169 friction=31.46 &
dilation=0.0 tension=0.0 group 'User:B'
group 'User:A' i 1 80 j 50
model mohr notnull group 'User:A'
prop density=1.95 bulk=33.3E3 shear=11.1E3 cohesion=10.0 friction=26 &
dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:A'
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
gen arc -15.0 5.12258 -21.225 -2.511022 78.3783
gen line -8.775 -2.51022 -8.775 0
gen arc -15 0 -8.775 0 180
gen line -21.225 0 -21.225 -2.511022
ini x -21.225 y -2.45 i 127 j 23
mark i 127 j 23
ini x -8.775 y -2.45 i 165 j 23
mark i 165 j 23
unmark
gen arc 15.0 5.12258 8.775 -2.51022 78.3783
gen line 21.225 -2.51022 21.225 0
gen arc 15 0 21.225 0 180
gen line 8.775 0 8.775 -2.51022
ini x 8.775 y -2.45 i 217 j 23
mark i 217 j 23
ini x 21.225 y -2.45 i 255 j 23
mark i 255 j 23
ini ex_3 = 1 mark
unmark
initial syy -97.5 var 0.0,97.5 i 1 80 j 49 50
initial sxx -78 var 0.0,78 i 1 80 j 49 50
initial szz -78 var 0.0,78 i 1 80 j 49 50
initial syy -763.75 var 0.0,666.25 i 1 80 j 41 48
initial sxx -611 var 0.0,533 i 1 80 j 41 48
initial szz -611 var 0.0,533 i 1 80 j 41 48
initial syy -1263.75 var 0.0,500 i 1 10 j 21 40
initial sxx -1011 var 0.0,400 i 1 10 j 21 40
initial szz -1011 var 0.0,400 i 1 10 j 21 40
initial syy -1263.75 var 0.0,500 i 101 280 j 1 60
initial sxx -1011 var 0.0,400 i 101 280 j 1 60
initial szz -1011 var 0.0,400 i 101 280 j 1 60
initial syy -1263.75 var 0.0,500 i 71 80 j 21 40
initial sxx -1011 var 0.0,400 i 71 80 j 21 40
initial szz -1011 var 0.0,400 i 71 80 j 21 40
initial syy -2763.75 var 0.0,1500 i 1 80 j 1 20
initial sxx -2211 var 0.0,1200 i 1 80 j 1 20
initial szz -2211 var 0.0,1200 i 1 80 j 1 20
history 4 unbalanced
set gravity=10.0
set force 2e-3
set sratio 1e-6
set flow off
set mech on
solve
```

```
save 00.sav
ini xdisp 0 ydisp 0
ini xvel 0 yvel 0
unmark
call fse$.fis
get_mark_back
m n region 235 35
fix x y mark
step 100
find_rf
set force 0.005
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvel 0 yvel 0
free x y mark
history 5 ydisp i=236 j=50
history 6 syy i=236 j=50
history 7 xdisp i=217 j=31
history 8 sxx i=216 j=30
history 9 xdisp i=255 j=31
history 10 sxx i=255 j=30
history 11 ydisp i=236 j=17
history 12 syy i=235 j=16
set relax=0.05
app_rf
set force 0.1
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
save 01.sav
struct prop 1001 a 0.223 i 0.000766 e 3.12e7 dens 2.2
struct node 1 grid 217,23
```

struct node 2 grid 217,24
struct node 3 grid 217,25
struct node 4 grid 217,26
struct node 5 grid 217,27
struct node 6 grid 217,28
struct node 7 grid 217,29
struct node 8 grid 217,30
struct node 9 grid 217,31
struct node 10 grid 217,32
struct node 11 grid 217,33
struct node 12 grid 217,34
struct node 13 grid 218,34
struct node 14 grid 218,35
struct node 15 grid 218,36
struct node 16 grid 218,37
struct node 17 grid 218,38
struct node 18 grid 219,38
struct node 19 grid 219,39
struct node 20 grid 219,40
struct node 21 grid 220,40
struct node 22 grid 220,41
struct node 23 grid 221,41
struct node 24 grid 221,42
struct node 25 grid 221,43
struct node 26 grid 222,43
struct node 27 grid 222,44
struct node 28 grid 223,44
struct node 29 grid 223,45
struct node 30 grid 224,45
struct node 31 grid 224,46
struct node 32 grid 225,46
struct node 33 grid 226,46
struct node 34 grid 226,47
struct node 35 grid 227,47
struct node 36 grid 227,48
struct node 37 grid 228,48
struct node 38 grid 229,48
struct node 39 grid 229,49
struct node 40 grid 230,49
struct node 41 grid 231,49
struct node 42 grid 232,49
struct node 43 grid 233,49
struct node 44 grid 233,50
struct node 45 grid 234,50
struct node 46 grid 235,50

struct node 47 grid 236,50
struct node 48 grid 237,50
struct node 49 grid 238,50
struct node 50 grid 239,50
struct node 51 grid 239,49
struct node 52 grid 240,49
struct node 53 grid 241,49
struct node 54 grid 242,49
struct node 55 grid 243,49
struct node 56 grid 243,48
struct node 57 grid 244,48
struct node 58 grid 245,48
struct node 59 grid 245,47
struct node 60 grid 246,47
struct node 61 grid 246,46
struct node 62 grid 247,46
struct node 63 grid 248,46
struct node 64 grid 248,45
struct node 65 grid 249,45
struct node 66 grid 249,44
struct node 67 grid 250,44
struct node 68 grid 250,43
struct node 69 grid 251,43
struct node 70 grid 251,42
struct node 71 grid 251,41
struct node 72 grid 252,41
struct node 73 grid 252,40
struct node 74 grid 253,40
struct node 75 grid 253,39
struct node 76 grid 253,38
struct node 77 grid 254,38
struct node 78 grid 254,37
struct node 79 grid 254,36
struct node 80 grid 254,35
struct node 81 grid 254,34
struct node 82 grid 255,34
struct node 83 grid 255,33
struct node 84 grid 255,32
struct node 85 grid 255,31
struct node 86 grid 255,30
struct node 87 grid 255,29
struct node 88 grid 255,28
struct node 89 grid 255,27
struct node 90 grid 255,26
struct node 91 grid 255,25

struct node 92 grid 255,24
struct node 93 grid 255,23
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 beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 60 end node 61 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 61 end node 62 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 62 end node 63 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 63 end node 64 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 64 end node 65 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 65 end node 66 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 66 end node 67 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 67 end node 68 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 68 end node 69 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 69 end node 70 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 70 end node 71 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 71 end node 72 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 72 end node 73 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 73 end node 74 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 74 end node 75 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 75 end node 76 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 76 end node 77 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 77 end node 78 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 78 end node 79 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 79 end node 80 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 80 end node 81 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 81 end node 82 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 82 end node 83 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 83 end node 84 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 84 end node 85 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 85 end node 86 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 86 end node 87 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 87 end node 88 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 88 end node 89 seg 1 prop 1001

```
struct beam begin node 89 end node 90 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 90 end node 91 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 91 end node 92 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 92 end node 93 seg 1 prop 1001
struct prop 1001
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
save 02.sav
struc prop 1002 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
struct node 94 grid 254,23
struct node 95 grid 253,23
struct node 96 grid 253,22
struct node 97 grid 252,22
struct node 98 grid 252,21
struct node 99 grid 251,21
struct node 100 grid 250,21
struct node 101 grid 250,20
```

struct node 102 grid 249,20
struct node 103 grid 248,20
struct node 104 grid 248,19
struct node 105 grid 247,19
struct node 106 grid 246,19
struct node 107 grid 246,18
struct node 108 grid 245,18
struct node 109 grid 244,18
struct node 110 grid 243,18
struct node 111 grid 242,18
struct node 112 grid 242,17
struct node 113 grid 241,17
struct node 114 grid 240,17
struct node 115 grid 239,17
struct node 116 grid 238,17
struct node 117 grid 237,17
struct node 118 grid 236,17
struct node 119 grid 235,17
struct node 120 grid 234,17
struct node 121 grid 233,17
struct node 122 grid 232,17
struct node 123 grid 231,17
struct node 124 grid 230,17
struct node 125 grid 230,18
struct node 126 grid 229,18
struct node 127 grid 228,18
struct node 128 grid 227,18
struct node 129 grid 226,18
struct node 130 grid 226,19
struct node 131 grid 225,19
struct node 132 grid 224,19
struct node 133 grid 224,20
struct node 134 grid 223,20
struct node 135 grid 222,20
struct node 136 grid 222,21
struct node 137 grid 221,21
struct node 138 grid 220,21
struct node 139 grid 220,22
struct node 140 grid 219,22
struct node 141 grid 219,23
struct node 142 grid 218,23
struct beam begin node 93 end node 94 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 94 end node 95 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 95 end node 96 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 96 end node 97 seg 1 prop 1002

struct beam begin node 97 end node 98 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 98 end node 99 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 99 end node 100 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 100 end node 101 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 101 end node 102 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 102 end node 103 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 103 end node 104 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 104 end node 105 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 105 end node 106 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 106 end node 107 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 107 end node 108 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 108 end node 109 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 109 end node 110 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 110 end node 111 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 111 end node 112 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 112 end node 113 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 113 end node 114 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 114 end node 115 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 115 end node 116 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 116 end node 117 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 117 end node 118 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 118 end node 119 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 119 end node 120 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 120 end node 121 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 121 end node 122 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 122 end node 123 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 123 end node 124 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 124 end node 125 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 125 end node 126 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 126 end node 127 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 127 end node 128 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 128 end node 129 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 129 end node 130 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 130 end node 131 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 131 end node 132 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 132 end node 133 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 133 end node 134 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 134 end node 135 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 135 end node 136 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 136 end node 137 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 137 end node 138 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 138 end node 139 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 139 end node 140 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 140 end node 141 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 141 end node 142 seg 1 prop 1002

```
struct beam begin node 142 end node 1 seg 1 prop 1002
set relax 0.85
app_rf
solve
set relax 0.90
app_rf
solve
save 03.sav
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
struct beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 60 end node 61 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 61 end node 62 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 62 end node 63 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 63 end node 64 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 64 end node 65 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 65 end node 66 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 66 end node 67 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 67 end node 68 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 68 end node 69 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 69 end node 70 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 70 end node 71 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 71 end node 72 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 72 end node 73 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 73 end node 74 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 74 end node 75 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 75 end node 76 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 76 end node 77 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 77 end node 78 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 78 end node 79 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 79 end node 80 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 80 end node 81 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 81 end node 82 seg 1 prop 1003

```
struct beam begin node 82 end node 83 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 83 end node 84 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 84 end node 85 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 85 end node 86 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 86 end node 87 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 87 end node 88 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 88 end node 89 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 89 end node 90 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 90 end node 91 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 91 end node 92 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 92 end node 93 seg 1 prop 1003
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=1.0
app_rf
solve
save 04.sav
struct beam delete 1 92
solve
save 05.sav
history 13 ydisp i=146 j=50
history 14 syy i=145 j=50
history 15 xdisp i=165 j=31
history 16 sxx i=165 j=31
history 17 xdisp i=127 j=31
history 18 sxx i=126 j=31
history 19 ydisp i=146 j=17
history 20 syy i=145 j=16
ini ex_3 = 0
unmark
mark i 127 j 23 31
mark i 127 j 32
mark i 127 j 33
mark i 127 j 34
mark i 128 j 34
mark i 128 j 35
mark i 128 j 36 38
mark i 129 j 38 40
mark i 130 j 40 41
mark i 131 j 41 43
mark i 132 j 43 44
mark i 133 j 44 45
mark i 133 j 45
mark i 134 j 45 46
```

mark i 135 136 j 46
mark i 136 137 j 47
mark i 137 j 47
mark i 137 139 j 48
mark i 139 143 j 49
mark i 143 149 j 50
mark i 149 153 j 49
mark i 153 155 j 48
mark i 155 156 j 47
mark i 156 158 j 46
mark i 158 159 j 45
mark i 159 160 j 44
mark i 160 161 j 43
mark i 161 j 41 42
mark i 162 j 40 41
mark i 163 j 38 40
mark i 164 j 34 38
mark i 164 j 34
mark i 165 j 23 34
mark i 163 164 j 23
mark i 162 163 j 22
mark i 160 162 j 21
mark i 158 160 j 20
mark i 156 158 j 19
mark i 153 156 j 18
mark i 152 j 17 18
mark i 152 j 17
mark i 140 151 j 17
mark i 138 140 j 18
mark i 136 137 j 18
mark i 134 136 j 19
mark i 132 134 j 20
mark i 132 j 20
mark i 130 132 j 21
mark i 129 130 j 22
mark i 128 129 j 23
ini ex_3 = 1 mark
unmark
ini xdisp 0 ydisp 0
ini xvel 0 yvel 0
call fse\$.\$.fis
get_mark_back
m n region 145 31
fix x y mark
step 100

```
find_rf
set force 0.005
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvel 0 yvel 0
free x y mark
set relax=0.05
app_rf
set force 0.1
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
save 06.sav
struct prop 1004 a 0.276 i 0.00143 e 3.12e7 dens 2.2
struct node 143 grid 127,23
struct node 144 grid 127,24
struct node 145 grid 127,25
struct node 146 grid 127,26
struct node 147 grid 127,27
struct node 148 grid 127,28
struct node 149 grid 127,29
struct node 150 grid 127,30
struct node 151 grid 127,31
struct node 152 grid 127,32
struct node 153 grid 127,33
struct node 154 grid 127,34
struct node 155 grid 128,34
struct node 156 grid 128,35
struct node 157 grid 128,36
struct node 158 grid 128,37
struct node 159 grid 128,38
struct node 160 grid 129,38
```

struct node 161 grid 129,39
struct node 162 grid 129,40
struct node 163 grid 130,40
struct node 164 grid 130,41
struct node 165 grid 131,41
struct node 166 grid 131,42
struct node 167 grid 131,43
struct node 168 grid 132,43
struct node 169 grid 132,44
struct node 170 grid 133,44
struct node 171 grid 133,45
struct node 172 grid 134,45
struct node 173 grid 134,46
struct node 174 grid 135,46
struct node 175 grid 136,46
struct node 176 grid 136,47
struct node 177 grid 137,47
struct node 178 grid 137,48
struct node 179 grid 138,48
struct node 180 grid 139,48
struct node 181 grid 139,49
struct node 182 grid 140,49
struct node 183 grid 141,49
struct node 184 grid 142,49
struct node 185 grid 143,49
struct node 186 grid 143,50
struct node 187 grid 144,50
struct node 188 grid 145,50
struct node 189 grid 146,50
struct node 190 grid 147,50
struct node 191 grid 148,50
struct node 192 grid 149,50
struct node 193 grid 149,49
struct node 194 grid 150,49
struct node 195 grid 151,49
struct node 196 grid 152,49
struct node 197 grid 153,49
struct node 198 grid 153,48
struct node 199 grid 154,48
struct node 200 grid 155,48
struct node 201 grid 155,47
struct node 202 grid 156,47
struct node 203 grid 156,46
struct node 204 grid 157,46
struct node 205 grid 158,46

struct node 206 grid 158,45
struct node 207 grid 159,45
struct node 208 grid 159,44
struct node 209 grid 160,44
struct node 210 grid 160,43
struct node 211 grid 161,43
struct node 212 grid 161,42
struct node 213 grid 161,41
struct node 214 grid 162,41
struct node 215 grid 162,40
struct node 216 grid 163,40
struct node 217 grid 163,39
struct node 218 grid 163,38
struct node 219 grid 164,38
struct node 220 grid 164,37
struct node 221 grid 164,36
struct node 222 grid 164,35
struct node 223 grid 164,34
struct node 224 grid 165,34
struct node 225 grid 165,33
struct node 226 grid 165,32
struct node 227 grid 165,31
struct node 228 grid 165,30
struct node 229 grid 165,29
struct node 230 grid 165,28
struct node 231 grid 165,27
struct node 232 grid 165,26
struct node 233 grid 165,25
struct node 234 grid 165,24
struct node 235 grid 165,23
struct beam begin node 143 end node 144 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 144 end node 145 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 145 end node 146 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 146 end node 147 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 147 end node 148 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 148 end node 149 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 149 end node 150 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 150 end node 151 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 151 end node 152 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 152 end node 153 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 153 end node 154 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 154 end node 155 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 155 end node 156 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 156 end node 157 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 157 end node 158 seg 1 prop 1004

struct beam begin node 158 end node 159 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 159 end node 160 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 160 end node 161 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 161 end node 162 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 162 end node 163 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 163 end node 164 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 164 end node 165 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 165 end node 166 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 166 end node 167 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 167 end node 168 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 168 end node 169 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 169 end node 170 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 170 end node 171 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 171 end node 172 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 172 end node 173 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 173 end node 174 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 174 end node 175 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 175 end node 176 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 176 end node 177 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 177 end node 178 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 178 end node 179 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 179 end node 180 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 180 end node 181 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 181 end node 182 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 182 end node 183 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 183 end node 184 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 184 end node 185 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 185 end node 186 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 186 end node 187 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 187 end node 188 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 188 end node 189 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 189 end node 190 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 190 end node 191 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 191 end node 192 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 192 end node 193 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 193 end node 194 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 194 end node 195 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 195 end node 196 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 196 end node 197 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 197 end node 198 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 198 end node 199 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 199 end node 200 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 200 end node 201 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 201 end node 202 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 202 end node 203 seg 1 prop 1004

struct beam begin node 203 end node 204 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 204 end node 205 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 205 end node 206 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 206 end node 207 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 207 end node 208 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 208 end node 209 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 209 end node 210 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 210 end node 211 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 211 end node 212 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 212 end node 213 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 213 end node 214 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 214 end node 215 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 215 end node 216 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 216 end node 217 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 217 end node 218 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 218 end node 219 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 219 end node 220 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 220 end node 221 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 221 end node 222 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 222 end node 223 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 223 end node 224 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 224 end node 225 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 225 end node 226 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 226 end node 227 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 227 end node 228 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 228 end node 229 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 229 end node 230 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 230 end node 231 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 231 end node 232 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 232 end node 233 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 233 end node 234 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 234 end node 235 seg 1 prop 1004
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
save 07.sav
struc prop 1005 a 0.70 i 0.0285 e 3.12e7 dens 2.5
struct node 236 grid 164,23
struct node 237 grid 163,23
struct node 238 grid 163,22
struct node 239 grid 162,22
struct node 240 grid 162,21
struct node 241 grid 161,21
struct node 242 grid 160,21
struct node 243 grid 160,20
struct node 244 grid 159,20
struct node 245 grid 158,20
struct node 246 grid 158,19
struct node 247 grid 157,19
struct node 248 grid 156,19
struct node 249 grid 156,18
struct node 250 grid 155,18
struct node 251 grid 154,18
struct node 252 grid 153,18
struct node 253 grid 152,18
struct node 254 grid 152,17
struct node 255 grid 151,17
struct node 256 grid 150,17
struct node 257 grid 149,17
struct node 258 grid 148,17
struct node 259 grid 147,17
struct node 260 grid 146,17
struct node 261 grid 145,17
```

struct node 262 grid 144,17
struct node 263 grid 143,17
struct node 264 grid 142,17
struct node 265 grid 141,17
struct node 266 grid 140,17
struct node 267 grid 140,18
struct node 268 grid 139,18
struct node 269 grid 138,18
struct node 270 grid 137,18
struct node 271 grid 136,18
struct node 272 grid 136,19
struct node 273 grid 135,19
struct node 274 grid 134,19
struct node 275 grid 134,20
struct node 276 grid 133,20
struct node 277 grid 132,20
struct node 278 grid 132,21
struct node 279 grid 131,21
struct node 280 grid 130,21
struct node 281 grid 130,22
struct node 282 grid 129,22
struct node 283 grid 129,23
struct node 284 grid 128,23
struct beam begin node 235 end node 236 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 236 end node 237 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 237 end node 238 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 238 end node 239 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 239 end node 240 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 240 end node 241 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 241 end node 242 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 242 end node 243 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 243 end node 244 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 244 end node 245 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 245 end node 246 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 246 end node 247 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 247 end node 248 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 248 end node 249 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 249 end node 250 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 250 end node 251 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 251 end node 252 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 252 end node 253 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 253 end node 254 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 254 end node 255 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 255 end node 256 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 256 end node 257 seg 1 prop 1005

```
struct beam begin node 257 end node 258 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 258 end node 259 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 259 end node 260 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 260 end node 261 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 261 end node 262 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 262 end node 263 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 263 end node 264 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 264 end node 265 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 265 end node 266 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 266 end node 267 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 267 end node 268 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 268 end node 269 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 269 end node 270 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 270 end node 271 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 271 end node 272 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 272 end node 273 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 273 end node 274 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 274 end node 275 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 275 end node 276 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 276 end node 277 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 277 end node 278 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 278 end node 279 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 279 end node 280 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 280 end node 281 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 281 end node 282 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 282 end node 283 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 283 end node 284 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 284 end node 143 seg 1 prop 1005
set relax 0.85
app_rf
solve
set relax=0.90
app_rf
solve
save 08.sav
struc prop 1006 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
struct beam begin node 143 end node 144 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 144 end node 145 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 145 end node 146 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 146 end node 147 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 147 end node 148 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 148 end node 149 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 149 end node 150 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 150 end node 151 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 151 end node 152 seg 1 prop 1006
```

struct beam begin node 152 end node 153 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 153 end node 154 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 154 end node 155 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 155 end node 156 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 156 end node 157 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 157 end node 158 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 158 end node 159 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 159 end node 160 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 160 end node 161 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 161 end node 162 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 162 end node 163 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 163 end node 164 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 164 end node 165 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 165 end node 166 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 166 end node 167 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 167 end node 168 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 168 end node 169 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 169 end node 170 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 170 end node 171 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 171 end node 172 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 172 end node 173 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 173 end node 174 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 174 end node 175 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 175 end node 176 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 176 end node 177 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 177 end node 178 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 178 end node 179 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 179 end node 180 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 180 end node 181 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 181 end node 182 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 182 end node 183 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 183 end node 184 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 184 end node 185 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 185 end node 186 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 186 end node 187 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 187 end node 188 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 188 end node 189 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 189 end node 190 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 190 end node 191 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 191 end node 192 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 192 end node 193 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 193 end node 194 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 194 end node 195 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 195 end node 196 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 196 end node 197 seg 1 prop 1006

```
struct beam begin node 197 end node 198 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 198 end node 199 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 199 end node 200 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 200 end node 201 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 201 end node 202 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 202 end node 203 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 203 end node 204 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 204 end node 205 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 205 end node 206 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 206 end node 207 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 207 end node 208 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 208 end node 209 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 209 end node 210 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 210 end node 211 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 211 end node 212 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 212 end node 213 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 213 end node 214 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 214 end node 215 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 215 end node 216 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 216 end node 217 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 217 end node 218 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 218 end node 219 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 219 end node 220 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 220 end node 221 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 221 end node 222 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 222 end node 223 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 223 end node 224 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 224 end node 225 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 225 end node 226 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 226 end node 227 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 227 end node 228 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 228 end node 229 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 229 end node 230 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 230 end node 231 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 231 end node 232 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 232 end node 233 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 233 end node 234 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 234 end node 235 seg 1 prop 1006
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=1.0
app_rf
solve
save 09.sav
```

```
struct beam delete 235 326  
solve  
save 10.sav
```

11.2 SEZIONE TIPO B2

```
config gwflow ats extra 10  
g 280 60  
m e  
m n i 81 100  
m n i 1 81 j 51 61  
m n i 11 70 j 21 40  
gen -70,-70 -70,-10 -30,-10 -30,-70 i 1 11 j 1 21 ratio 0.88,0.88  
gen -70,-10 -70,10 -30,10 -30,-10 i 1 11 j 21 41 ratio 0.88,1  
gen -70,10 -70,30.32 -30,30.32 -30,10 i 1 11 j 41 51 ratio 0.88,1.12  
gen -30,10 -30,30.32 30,30.32 30,10 i 11 71 j 41 51 ratio 1,1.12  
gen -30,-70 -30,-10 30,-10 30,-70 i 11 71 j 1 21 ratio 1,0.88  
gen 30,10 30,30.32 70,30.32 70,10 i 71 81 j 41 51 ratio 1.12,1.12  
gen 30,-10 30,10 70,10 70,-10 i 71 81 j 21 41 ratio 1.12, 1  
gen 30,-70 30,-10 70,-10 70,-70 i 71 81 j 1 21 ratio 1.12, 0.88  
gen -30,-10 -30,10 30,10 30,-10 i 101 281 j 1,61  
attach aside from 11,41 to 11,21 bside from 101,61 to 101,1  
attach aside from 101,61 to 281,61 bside from 11,41 to 71,41  
attach aside from 281,61 to 281,1 bside from 71,41 to 71,21  
attach aside from 101,1 to 281,1 bside from 11,21 to 71,21  
gen line -80,25.32 80,25.32  
unmark  
fix x i 1  
fix x i 81  
fix y i 1 81 j 1  
group 'User:B' region 158 35  
group 'User:B' region 3 35  
group 'User:A' i 1 80 j 49 50  
model mohr notnull group 'User:B'  
prop density=2.5 bulk=856.67e3 shear=183.67e3 cohesion 63 friction 21 &  
dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:B'  
model mohr notnull group 'User:A'  
prop density=1.95 bulk=33.3E3 shear=11.1E3 cohesion=10.0 friction=26 &  
dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:A'  
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
gen arc -15.0 5.12258 -21.225 -2.511022 78.3783
gen line -8.775 -2.51022 -8.775 0
gen arc -15 0 -8.775 0 180
gen line -21.225 0 -21.225 -2.511022
ini x -21.225 y -2.48 i 127 j 23
mark i 127 j 23
ini x -8.775 y -2.48 i 165 j 23
mark i 165 j 23
unmark
gen arc 15.0 5.12258 8.775 -2.51022 78.3783
gen line 21.225 -2.51022 21.225 0
gen arc 15 0 21.225 0 180
gen line 8.775 0 8.775 -2.51022
ini x 8.775 y -2.48 i 217 j 23
mark i 217 j 23
ini x 21.225 y -2.48 i 255 j 23
mark i 255 j 23
ini ex_3 = 1 mark
unmark
initial syy -97.5 var 0.0,97.5 i 1 80 j 49 50
initial sxx -78 var 0.0,78 i 1 80 j 49 50
initial szz -78 var 0.0,78 i 1 80 j 49 50
initial syy -480.5 var 0.0,383 i 1 80 j 41 48
initial sxx -384.4 var 0.0,306.4 i 1 80 j 41 48
initial szz -384.4 var 0.0,306.4 i 1 80 j 41 48
initial syy -980.5 var 0.0,500 i 1 10 j 21 40
initial sxx -784.4 var 0.0,400 i 1 10 j 21 40
initial szz -784.4 var 0.0,400 i 1 10 j 21 40
initial syy -980.5 var 0.0,500 i 101 280 j 1 60
initial sxx -784.4 var 0.0,400 i 101 280 j 1 60
initial szz -784.4 var 0.0,400 i 101 280 j 1 60
initial syy -980.5 var 0.0,500 i 71 80 j 21 40
initial sxx -784.4 var 0.0,400 i 71 80 j 21 40
initial szz -784.4 var 0.0,400 i 71 80 j 21 40
initial syy -2480.5 var 0.0,1500 i 1 80 j 1 20
initial sxx -1984.4 var 0.0,1200 i 1 80 j 1 20
initial szz -1984.4 var 0.0,1200 i 1 80 j 1 20
history 4 unbalanced
set gravity=10.0
set force 2e-3
set sratio 1e-6
set flow off
```

```
set mech on
solve
save 00.sav
ini xdisp 0 ydisp 0
ini xvel 0 yvel 0
unmark
call fse$.fis
get_mark_back
m n region 235 35
fix x y mark
step 100
find_rf
set force 0.005
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvel 0 yvel 0
free x y mark
history 5 ydisp i=236 j=50
history 6 syy i=236 j=50
history 7 xdisp i=217 j=31
history 8 sxx i=216 j=30
history 9 xdisp i=255 j=31
history 10 sxx i=255 j=30
history 11 ydisp i=236 j=17
history 12 syy i=235 j=16
set relax=0.05
app_rf
set force 0.1
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
save 01.sav
```

struct prop 1001 a 0.223 i 0.000766 e 3.12e7 dens 2.2

struct node 1 grid 217,23

struct node 2 grid 217,24

struct node 3 grid 217,25

struct node 4 grid 217,26

struct node 5 grid 217,27

struct node 6 grid 217,28

struct node 7 grid 217,29

struct node 8 grid 217,30

struct node 9 grid 217,31

struct node 10 grid 217,32

struct node 11 grid 217,33

struct node 12 grid 217,34

struct node 13 grid 218,34

struct node 14 grid 218,35

struct node 15 grid 218,36

struct node 16 grid 218,37

struct node 17 grid 218,38

struct node 18 grid 219,38

struct node 19 grid 219,39

struct node 20 grid 219,40

struct node 21 grid 220,40

struct node 22 grid 220,41

struct node 23 grid 221,41

struct node 24 grid 221,42

struct node 25 grid 221,43

struct node 26 grid 222,43

struct node 27 grid 222,44

struct node 28 grid 223,44

struct node 29 grid 223,45

struct node 30 grid 224,45

struct node 31 grid 224,46

struct node 32 grid 225,46

struct node 33 grid 226,46

struct node 34 grid 226,47

struct node 35 grid 227,47

struct node 36 grid 227,48

struct node 37 grid 228,48

struct node 38 grid 229,48

struct node 39 grid 229,49

struct node 40 grid 230,49

struct node 41 grid 231,49

struct node 42 grid 232,49

struct node 43 grid 233,49

struct node 44 grid 233,50

struct node 45 grid 234,50
struct node 46 grid 235,50
struct node 47 grid 236,50
struct node 48 grid 237,50
struct node 49 grid 238,50
struct node 50 grid 239,50
struct node 51 grid 239,49
struct node 52 grid 240,49
struct node 53 grid 241,49
struct node 54 grid 242,49
struct node 55 grid 243,49
struct node 56 grid 243,48
struct node 57 grid 244,48
struct node 58 grid 245,48
struct node 59 grid 245,47
struct node 60 grid 246,47
struct node 61 grid 246,46
struct node 62 grid 247,46
struct node 63 grid 248,46
struct node 64 grid 248,45
struct node 65 grid 249,45
struct node 66 grid 249,44
struct node 67 grid 250,44
struct node 68 grid 250,43
struct node 69 grid 251,43
struct node 70 grid 251,42
struct node 71 grid 251,41
struct node 72 grid 252,41
struct node 73 grid 252,40
struct node 74 grid 253,40
struct node 75 grid 253,39
struct node 76 grid 253,38
struct node 77 grid 254,38
struct node 78 grid 254,37
struct node 79 grid 254,36
struct node 80 grid 254,35
struct node 81 grid 254,34
struct node 82 grid 255,34
struct node 83 grid 255,33
struct node 84 grid 255,32
struct node 85 grid 255,31
struct node 86 grid 255,30
struct node 87 grid 255,29
struct node 88 grid 255,28
struct node 89 grid 255,27

struct node 90 grid 255,26
struct node 91 grid 255,25
struct node 92 grid 255,24
struct node 93 grid 255,23
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 beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 60 end node 61 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 61 end node 62 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 62 end node 63 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 63 end node 64 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 64 end node 65 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 65 end node 66 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 66 end node 67 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 67 end node 68 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 68 end node 69 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 69 end node 70 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 70 end node 71 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 71 end node 72 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 72 end node 73 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 73 end node 74 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 74 end node 75 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 75 end node 76 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 76 end node 77 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 77 end node 78 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 78 end node 79 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 79 end node 80 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 80 end node 81 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 81 end node 82 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 82 end node 83 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 83 end node 84 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 84 end node 85 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 85 end node 86 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 86 end node 87 seg 1 prop 1001

```
struct beam begin node 87 end node 88 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 88 end node 89 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 89 end node 90 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 90 end node 91 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 91 end node 92 seg 1 prop 1001
struct beam begin node 92 end node 93 seg 1 prop 1001
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
save 02.sav
struc prop 1002 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
struct node 94 grid 254,23
struct node 95 grid 253,23
struct node 96 grid 253,22
struct node 97 grid 252,22
struct node 98 grid 252,21
struct node 99 grid 251,21
struct node 100 grid 250,21
struct node 101 grid 250,20
struct node 102 grid 249,20
struct node 103 grid 248,20
```

struct node 104 grid 248,19
struct node 105 grid 247,19
struct node 106 grid 246,19
struct node 107 grid 246,18
struct node 108 grid 245,18
struct node 109 grid 244,18
struct node 110 grid 243,18
struct node 111 grid 242,18
struct node 112 grid 242,17
struct node 113 grid 241,17
struct node 114 grid 240,17
struct node 115 grid 239,17
struct node 116 grid 238,17
struct node 117 grid 237,17
struct node 118 grid 236,17
struct node 119 grid 235,17
struct node 120 grid 234,17
struct node 121 grid 233,17
struct node 122 grid 232,17
struct node 123 grid 231,17
struct node 124 grid 230,17
struct node 125 grid 230,18
struct node 126 grid 229,18
struct node 127 grid 228,18
struct node 128 grid 227,18
struct node 129 grid 226,18
struct node 130 grid 226,19
struct node 131 grid 225,19
struct node 132 grid 224,19
struct node 133 grid 224,20
struct node 134 grid 223,20
struct node 135 grid 222,20
struct node 136 grid 222,21
struct node 137 grid 221,21
struct node 138 grid 220,21
struct node 139 grid 220,22
struct node 140 grid 219,22
struct node 141 grid 219,23
struct node 142 grid 218,23
struct beam begin node 93 end node 94 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 94 end node 95 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 95 end node 96 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 96 end node 97 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 97 end node 98 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 98 end node 99 seg 1 prop 1002

struct beam begin node 99 end node 100 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 100 end node 101 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 101 end node 102 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 102 end node 103 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 103 end node 104 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 104 end node 105 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 105 end node 106 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 106 end node 107 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 107 end node 108 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 108 end node 109 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 109 end node 110 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 110 end node 111 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 111 end node 112 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 112 end node 113 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 113 end node 114 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 114 end node 115 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 115 end node 116 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 116 end node 117 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 117 end node 118 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 118 end node 119 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 119 end node 120 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 120 end node 121 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 121 end node 122 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 122 end node 123 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 123 end node 124 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 124 end node 125 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 125 end node 126 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 126 end node 127 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 127 end node 128 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 128 end node 129 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 129 end node 130 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 130 end node 131 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 131 end node 132 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 132 end node 133 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 133 end node 134 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 134 end node 135 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 135 end node 136 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 136 end node 137 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 137 end node 138 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 138 end node 139 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 139 end node 140 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 140 end node 141 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 141 end node 142 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 142 end node 1 seg 1 prop 1002
set relax 0.80

```
app_rf
solve
set relax=0.82
app_rf
solve
save 03.sav
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
struct beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 60 end node 61 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 61 end node 62 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 62 end node 63 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 63 end node 64 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 64 end node 65 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 65 end node 66 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 66 end node 67 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 67 end node 68 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 68 end node 69 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 69 end node 70 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 70 end node 71 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 71 end node 72 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 72 end node 73 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 73 end node 74 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 74 end node 75 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 75 end node 76 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 76 end node 77 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 77 end node 78 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 78 end node 79 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 79 end node 80 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 80 end node 81 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 81 end node 82 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 82 end node 83 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 83 end node 84 seg 1 prop 1003

```
struct beam begin node 84 end node 85 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 85 end node 86 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 86 end node 87 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 87 end node 88 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 88 end node 89 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 89 end node 90 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 90 end node 91 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 91 end node 92 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 92 end node 93 seg 1 prop 1003
set relax=0.85
app_rf
solve
set relax=0.90
app_rf
solve
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=1.0
app_rf
solve
save 04.sav
struc beam delete 1 92
solve
save 05.sav
history 13 ydisp i=146 j=50
history 14 syy i=145 j=50
history 15 xdisp i=165 j=31
history 16 sxx i=165 j=31
history 17 xdisp i=127 j=31
history 18 sxx i=126 j=31
history 19 ydisp i=146 j=17
history 20 syy i=145 j=16
ini ex_3 = 0
unmark
mark i 127 j 23 31
mark i 127 j 32
mark i 127 j 33
mark i 127 j 34
mark i 128 j 34
mark i 128 j 35
mark i 128 j 36 38
mark i 129 j 38 40
mark i 130 j 40 41
mark i 131 j 41 43
```

mark i 132 j 43 44
mark i 133 j 44 45
mark i 133 j 45
mark i 134 j 45 46
mark i 135 136 j 46
mark i 136 137 j 47
mark i 137 j 47
mark i 137 139 j 48
mark i 139 143 j 49
mark i 143 149 j 50
mark i 149 153 j 49
mark i 153 155 j 48
mark i 155 156 j 47
mark i 156 158 j 46
mark i 158 159 j 45
mark i 159 160 j 44
mark i 160 161 j 43
mark i 161 j 41 42
mark i 162 j 40 41
mark i 163 j 38 40
mark i 164 j 34 38
mark i 164 j 34
mark i 165 j 23 34
mark i 163 164 j 23
mark i 162 163 j 22
mark i 160 162 j 21
mark i 158 160 j 20
mark i 156 158 j 19
mark i 153 156 j 18
mark i 152 j 17 18
mark i 152 j 17
mark i 140 151 j 17
mark i 138 140 j 18
mark i 136 137 j 18
mark i 134 136 j 19
mark i 132 134 j 20
mark i 132 j 20
mark i 130 132 j 21
mark i 129 130 j 22
mark i 128 129 j 23
ini ex_3 = 1 mark
unmark
ini xdisp 0 ydisp 0
ini xvvel 0 yvel 0
call fse\$.fis

```
get_mark_back
m n region 145 31
fix x y mark
step 100
find_rf
set force 0.005
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvel 0 yvel 0
free x y mark
set relax=0.05
app_rf
set force 0.1
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
save 06.sav
struct prop 1004 a 0.276 i 0.00143 e 3.12e7 dens 2.2
struct node 143 grid 127,23
struct node 144 grid 127,24
struct node 145 grid 127,25
struct node 146 grid 127,26
struct node 147 grid 127,27
struct node 148 grid 127,28
struct node 149 grid 127,29
struct node 150 grid 127,30
struct node 151 grid 127,31
struct node 152 grid 127,32
struct node 153 grid 127,33
struct node 154 grid 127,34
struct node 155 grid 128,34
struct node 156 grid 128,35
```

struct node 157 grid 128,36
struct node 158 grid 128,37
struct node 159 grid 128,38
struct node 160 grid 129,38
struct node 161 grid 129,39
struct node 162 grid 129,40
struct node 163 grid 130,40
struct node 164 grid 130,41
struct node 165 grid 131,41
struct node 166 grid 131,42
struct node 167 grid 131,43
struct node 168 grid 132,43
struct node 169 grid 132,44
struct node 170 grid 133,44
struct node 171 grid 133,45
struct node 172 grid 134,45
struct node 173 grid 134,46
struct node 174 grid 135,46
struct node 175 grid 136,46
struct node 176 grid 136,47
struct node 177 grid 137,47
struct node 178 grid 137,48
struct node 179 grid 138,48
struct node 180 grid 139,48
struct node 181 grid 139,49
struct node 182 grid 140,49
struct node 183 grid 141,49
struct node 184 grid 142,49
struct node 185 grid 143,49
struct node 186 grid 143,50
struct node 187 grid 144,50
struct node 188 grid 145,50
struct node 189 grid 146,50
struct node 190 grid 147,50
struct node 191 grid 148,50
struct node 192 grid 149,50
struct node 193 grid 149,49
struct node 194 grid 150,49
struct node 195 grid 151,49
struct node 196 grid 152,49
struct node 197 grid 153,49
struct node 198 grid 153,48
struct node 199 grid 154,48
struct node 200 grid 155,48
struct node 201 grid 155,47

struct node 202 grid 156,47
struct node 203 grid 156,46
struct node 204 grid 157,46
struct node 205 grid 158,46
struct node 206 grid 158,45
struct node 207 grid 159,45
struct node 208 grid 159,44
struct node 209 grid 160,44
struct node 210 grid 160,43
struct node 211 grid 161,43
struct node 212 grid 161,42
struct node 213 grid 161,41
struct node 214 grid 162,41
struct node 215 grid 162,40
struct node 216 grid 163,40
struct node 217 grid 163,39
struct node 218 grid 163,38
struct node 219 grid 164,38
struct node 220 grid 164,37
struct node 221 grid 164,36
struct node 222 grid 164,35
struct node 223 grid 164,34
struct node 224 grid 165,34
struct node 225 grid 165,33
struct node 226 grid 165,32
struct node 227 grid 165,31
struct node 228 grid 165,30
struct node 229 grid 165,29
struct node 230 grid 165,28
struct node 231 grid 165,27
struct node 232 grid 165,26
struct node 233 grid 165,25
struct node 234 grid 165,24
struct node 235 grid 165,23
struct beam begin node 143 end node 144 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 144 end node 145 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 145 end node 146 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 146 end node 147 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 147 end node 148 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 148 end node 149 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 149 end node 150 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 150 end node 151 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 151 end node 152 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 152 end node 153 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 153 end node 154 seg 1 prop 1004

struct beam begin node 154 end node 155 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 155 end node 156 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 156 end node 157 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 157 end node 158 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 158 end node 159 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 159 end node 160 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 160 end node 161 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 161 end node 162 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 162 end node 163 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 163 end node 164 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 164 end node 165 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 165 end node 166 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 166 end node 167 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 167 end node 168 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 168 end node 169 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 169 end node 170 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 170 end node 171 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 171 end node 172 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 172 end node 173 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 173 end node 174 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 174 end node 175 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 175 end node 176 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 176 end node 177 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 177 end node 178 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 178 end node 179 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 179 end node 180 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 180 end node 181 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 181 end node 182 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 182 end node 183 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 183 end node 184 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 184 end node 185 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 185 end node 186 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 186 end node 187 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 187 end node 188 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 188 end node 189 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 189 end node 190 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 190 end node 191 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 191 end node 192 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 192 end node 193 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 193 end node 194 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 194 end node 195 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 195 end node 196 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 196 end node 197 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 197 end node 198 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 198 end node 199 seg 1 prop 1004

struct beam begin node 199 end node 200 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 200 end node 201 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 201 end node 202 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 202 end node 203 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 203 end node 204 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 204 end node 205 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 205 end node 206 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 206 end node 207 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 207 end node 208 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 208 end node 209 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 209 end node 210 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 210 end node 211 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 211 end node 212 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 212 end node 213 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 213 end node 214 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 214 end node 215 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 215 end node 216 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 216 end node 217 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 217 end node 218 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 218 end node 219 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 219 end node 220 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 220 end node 221 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 221 end node 222 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 222 end node 223 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 223 end node 224 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 224 end node 225 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 225 end node 226 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 226 end node 227 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 227 end node 228 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 228 end node 229 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 229 end node 230 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 230 end node 231 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 231 end node 232 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 232 end node 233 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 233 end node 234 seg 1 prop 1004
struct beam begin node 234 end node 235 seg 1 prop 1004
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
save 07.sav
struc prop 1005 a 0.70 i 0.0285 e 3.12e7 dens 2.5
struct node 236 grid 164,23
struct node 237 grid 163,23
struct node 238 grid 163,22
struct node 239 grid 162,22
struct node 240 grid 162,21
struct node 241 grid 161,21
struct node 242 grid 160,21
struct node 243 grid 160,20
struct node 244 grid 159,20
struct node 245 grid 158,20
struct node 246 grid 158,19
struct node 247 grid 157,19
struct node 248 grid 156,19
struct node 249 grid 156,18
struct node 250 grid 155,18
struct node 251 grid 154,18
struct node 252 grid 153,18
struct node 253 grid 152,18
struct node 254 grid 152,17
struct node 255 grid 151,17
struct node 256 grid 150,17
struct node 257 grid 149,17
struct node 258 grid 148,17
struct node 259 grid 147,17
struct node 260 grid 146,17
```

struct node 261 grid 145,17
struct node 262 grid 144,17
struct node 263 grid 143,17
struct node 264 grid 142,17
struct node 265 grid 141,17
struct node 266 grid 140,17
struct node 267 grid 140,18
struct node 268 grid 139,18
struct node 269 grid 138,18
struct node 270 grid 137,18
struct node 271 grid 136,18
struct node 272 grid 136,19
struct node 273 grid 135,19
struct node 274 grid 134,19
struct node 275 grid 134,20
struct node 276 grid 133,20
struct node 277 grid 132,20
struct node 278 grid 132,21
struct node 279 grid 131,21
struct node 280 grid 130,21
struct node 281 grid 130,22
struct node 282 grid 129,22
struct node 283 grid 129,23
struct node 284 grid 128,23
struct beam begin node 235 end node 236 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 236 end node 237 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 237 end node 238 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 238 end node 239 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 239 end node 240 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 240 end node 241 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 241 end node 242 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 242 end node 243 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 243 end node 244 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 244 end node 245 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 245 end node 246 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 246 end node 247 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 247 end node 248 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 248 end node 249 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 249 end node 250 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 250 end node 251 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 251 end node 252 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 252 end node 253 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 253 end node 254 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 254 end node 255 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 255 end node 256 seg 1 prop 1005

```
struct beam begin node 256 end node 257 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 257 end node 258 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 258 end node 259 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 259 end node 260 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 260 end node 261 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 261 end node 262 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 262 end node 263 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 263 end node 264 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 264 end node 265 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 265 end node 266 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 266 end node 267 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 267 end node 268 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 268 end node 269 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 269 end node 270 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 270 end node 271 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 271 end node 272 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 272 end node 273 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 273 end node 274 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 274 end node 275 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 275 end node 276 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 276 end node 277 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 277 end node 278 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 278 end node 279 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 279 end node 280 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 280 end node 281 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 281 end node 282 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 282 end node 283 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 283 end node 284 seg 1 prop 1005
struct beam begin node 284 end node 143 seg 1 prop 1005
set relax 0.80
app_rf
solve
set relax=0.82
app_rf
solve
save 08.sav
struc prop 1006 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
struct beam begin node 143 end node 144 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 144 end node 145 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 145 end node 146 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 146 end node 147 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 147 end node 148 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 148 end node 149 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 149 end node 150 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 150 end node 151 seg 1 prop 1006
```

struct beam begin node 151 end node 152 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 152 end node 153 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 153 end node 154 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 154 end node 155 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 155 end node 156 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 156 end node 157 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 157 end node 158 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 158 end node 159 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 159 end node 160 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 160 end node 161 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 161 end node 162 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 162 end node 163 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 163 end node 164 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 164 end node 165 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 165 end node 166 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 166 end node 167 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 167 end node 168 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 168 end node 169 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 169 end node 170 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 170 end node 171 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 171 end node 172 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 172 end node 173 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 173 end node 174 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 174 end node 175 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 175 end node 176 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 176 end node 177 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 177 end node 178 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 178 end node 179 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 179 end node 180 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 180 end node 181 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 181 end node 182 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 182 end node 183 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 183 end node 184 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 184 end node 185 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 185 end node 186 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 186 end node 187 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 187 end node 188 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 188 end node 189 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 189 end node 190 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 190 end node 191 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 191 end node 192 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 192 end node 193 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 193 end node 194 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 194 end node 195 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 195 end node 196 seg 1 prop 1006

```
struct beam begin node 196 end node 197 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 197 end node 198 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 198 end node 199 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 199 end node 200 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 200 end node 201 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 201 end node 202 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 202 end node 203 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 203 end node 204 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 204 end node 205 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 205 end node 206 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 206 end node 207 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 207 end node 208 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 208 end node 209 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 209 end node 210 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 210 end node 211 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 211 end node 212 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 212 end node 213 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 213 end node 214 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 214 end node 215 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 215 end node 216 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 216 end node 217 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 217 end node 218 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 218 end node 219 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 219 end node 220 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 220 end node 221 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 221 end node 222 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 222 end node 223 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 223 end node 224 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 224 end node 225 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 225 end node 226 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 226 end node 227 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 227 end node 228 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 228 end node 229 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 229 end node 230 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 230 end node 231 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 231 end node 232 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 232 end node 233 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 233 end node 234 seg 1 prop 1006
struct beam begin node 234 end node 235 seg 1 prop 1006
set relax=0.85
app_rf
solve
set relax=0.90
app_rf
solve
```

```
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=1
app_rf
solve
save 09.sav
struct beam delete 235 326
solve
save 10.sav
```