

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78

S.G.C. GROSSETO - FANO

Adeguamento a 4 Corsie nel Tratto Grosseto - Siena

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

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI13**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

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

IL PROGETTISTA:

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

IL GEOLOGO:

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

IL R.U.P.

Dott. Ing.
Antonio Scalamandrè

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

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

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



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

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

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



OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIE NATURALI

GALLERIA POGGIO TONDO ASSE SINISTRO

Relazione di calcolo

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L0702B E 1701

NOME FILE

T00-GN02-OST-RE02-A

CODICE ELAB.

T00GN02OSTRE02

REVISIONE

SCALA:

A

-

A

Emissione

16/10/2017

S.Sacconi

D.Carlaccini

N.Granieri

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
5. MODELLO GEOTECNICO.....	7
6. DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO.....	8
6.1 SEZIONE TIPO A1	8
6.2 SEZIONE TIPO B1.....	8
7. ANALISI DI INTERAZIONE STRUTTURE-TERRENO.....	9
7.1 IMPOSTAZIONE DELLE ANALISI NUMERICHE.....	9
7.2 SEZIONE TIPO A1	9
8. VERIFICHE STRUTTURALI	14
8.1 CRITERI DI VERIFICA	14
8.2 VERIFICA SEZIONE TIPO A1.....	16
8.2.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton).....	16
8.2.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)	16
8.2.3 Rivestimento definitivo (calotta)	18
9. MONITORAGGIO.....	20
10. TABULATI DI INPUT FLAC 5.0.....	21
10.1 SEZIONE TIPO A1	21

1. PREMESSA

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

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

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria naturale Poggio Tondo asse sinistro ha una lunghezza totale di 67 m, compresa tra le progressive pk 1+847 e pk 1+914. La galleria è già esistente; il progetto in esame riguarda l'allargamento della stessa per adeguarla alla rimanente parte del tracciato.

La carreggiata è costituita da due corsie di larghezza pari a 3.75 m ciascuna, una banchina in destra di larghezza 1.75 m e una banchina in sinistra di larghezza 0.50 m.

La sagoma tipo della galleria presenta una geometria policentrica con raggio di calotta unico e pari a 6.7 m; il raggio dell'arco rovescio è 10 m. L'area di scavo di scavo di circa 45 mq, mentre per gli imbocchi è previsto l'utilizzo di una sezione troncoconica con un'area di scavo media pari a 56 mq circa.

La tipologia di scavo della galleria in oggetto è caratterizzata dall'alesaggio della galleria esistente con demolizione del rivestimento esistente, allargo della sezione di scavo, posa in opera di centine e *spritz-beton* e realizzazione del rivestimento definitivo.

3. **NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

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

- D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (pubblicato sulla G.U. n. 29 – Suppl. Ordinario n. 30 – del 4 febbraio 2008).
- Circolare 02/02/2009 "Istruzione C.S.LL.PP. per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008.
- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/03/1988 – "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."
- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/09/1988 – D.M. 11.3.88. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

SPRITZ BETON

C 25/30

Proprietà a completa maturazione

Resistenza caratteristica cubica a compressione

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

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione

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

Resistenza cilindrica media a compressione

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

Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

$\alpha_{cc} = 1.0$

Coefficiente parziale di sicurezza

$\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione

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

Modulo elastico

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

CALCESTRUZZO STRUTTURALE

C 25/30

Proprietà a completa maturazione

Resistenza caratteristica cubica a compressione

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

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione

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

Resistenza cilindrica media a compressione

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

Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

$\alpha_{cc} = 0.85$

Coefficiente parziale di sicurezza

$\gamma_c = 1.5$

Resistenza di calcolo a compressione

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

Modulo elastico

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

Classe di esposizione

XC2 (UNI 206-1)

ACCIAIO DA CARPENTERIA

S275 (UNI EN 10025-2)

Tensione caratteristica a rottura

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

Tensione caratteristica a snervamento

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

Coefficiente parziale per verifiche di resistenza

$\gamma_{M0} = 1.05$

Coefficiente parziale per verifiche di stabilità

$\gamma_{M1} = 1.05$

Tensione di snervamento per verifiche di resistenza

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

Tensione di snervamento per verifiche di stabilità

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

Modulo elastico

$E_s = 210000 \text{ MPa}$

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

B450C

Tensione caratteristica di rottura nominale

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

Tensione caratteristica di snervamento nominale

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

Coefficiente parziale di snervamento

$\gamma_s = 1.15$

Tensione di calcolo di snervamento
Modulo elastico

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

$E_s = 210000 \text{ MPa}$

5. MODELLO GEOTECNICO

Lo scavo della galleria avviene per la quasi totalità nell'unità geotecnica A (formazione geologica del Verrucano, cfr. Relazione geologica e Relazione geotecnica della galleria). Solo all'imbocco nord, lato Siena, lo scavo interesserà l'unità geotecnica B. Sulla base dell'interpretazione dei dati di indagine disponibili, il tracciato della galleria è stato, pertanto, suddiviso in zone geotecnicamente omogenee. In particolare, sono state individuate una zona di massima copertura, e una zona di bassa copertura corrispondente agli imbocchi.

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

Tabella 1: Modello geotecnico.

Zona	Unità geotecnica	GSI	Copertura (m)	c' (kPa)	φ' (°)	E' (MPa)
Massima copertura	B	40	23	155	40	2000
Massima copertura		40	16	137	42.9	2000
Bassa-media copertura, imbocchi	B	35	16	81	31.2	860
Bassa-media copertura, imbocchi		35	1	13	55.4	860

Per tutti i dettagli sulla caratterizzazione dei litotipi presenti e sui parametri geotecnici del modello adottato si faccia riferimento alla Relazione geotecnica generale (T00-GE00-GET-RE00-A) e più in particolare alla Relazione geotecnica della galleria (T00-GN02-OST-RE01-A).

6. 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.

6.1 SEZIONE TIPO A1

La sezione tipo A1 è costituita da:

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

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

6.2 SEZIONE TIPO B1

La sezione tipo B1 è costituita da:

- n. 3+3 drenaggi in avanzamento (eventuali), L=30.0 m con sovrapposizione 7.5 m;
- pre-sostegno costituito da n. 37 tubi in acciaio $\phi 127$, sp=10 mm, lunghezza L=12 m e sovrapposizione pari a 4.5 m;
- pre-rivestimento costituito da 25 cm di *spritz-beton* fibrorinforzato e centine 2IPN 180 accoppiate a passo 1.25 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- arco rovescio e murette in calcestruzzo armato di spessore pari a 70 cm eseguito ad una distanza dal fronte di scavo non superiore a 15 m;
- calotta in calcestruzzo armato di spessore variabile tra 60 e 125 cm eseguita ad una distanza dal fronte non superiore a 22.5 m.

Questa sezione viene impiegata principalmente nelle zone di imbocco.

7. ANALISI DI INTERAZIONE STRUTTURE-TERRENO

7.1 IMPOSTAZIONE DELLE ANALISI NUMERICHE

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

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

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

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

7.2 SEZIONE TIPO A1

Per la sezione A1 è stata condotta l'analisi in corrispondenza della massima copertura con cui si presenta lungo il tracciato (H= 23 m). La sezione della galleria è schematizzata rispetto al suo asse di simmetria verticale.

L'ammasso è stato caratterizzato con i parametri di resistenza riportati in Tabella 1 in riferimento alla copertura di 23 m. Il rapporto tra le tensioni orizzontali iniziali e quelle verticali è stato assunto pari a 0.8.

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

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

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

- TIME 4 – Realizzazione arco rovescio e murette: viene simulata la realizzazione dell'arco rovescio mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=0.98$;
- TIME 5 – Realizzazione della calotta: viene simulata la realizzazione della calotta mediante l'inserimento di un elemento *beam*, si applica un coefficiente di rilascio pari $\lambda=1$;
- TIME 6 – Decadimento proprietà rivestimento provvisorio: si simula il decadimento delle proprietà del rivestimento eliminando gli elementi corrispondenti.

Le Figura 2 e Figura 3 seguenti mostrano la geometria della *mesh* impiegata e un dettaglio della stessa.

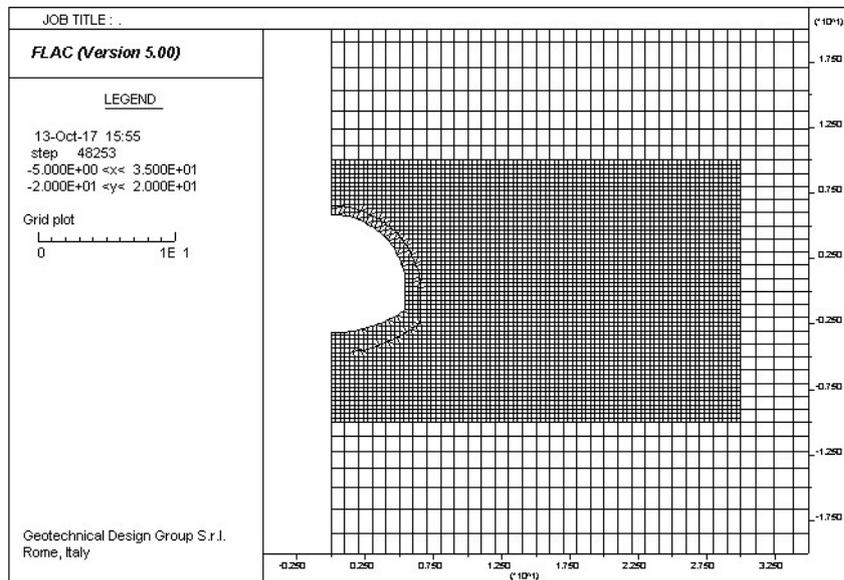


Figura 1: Dettaglio della geometria della mesh nell'intorno della galleria esistente.

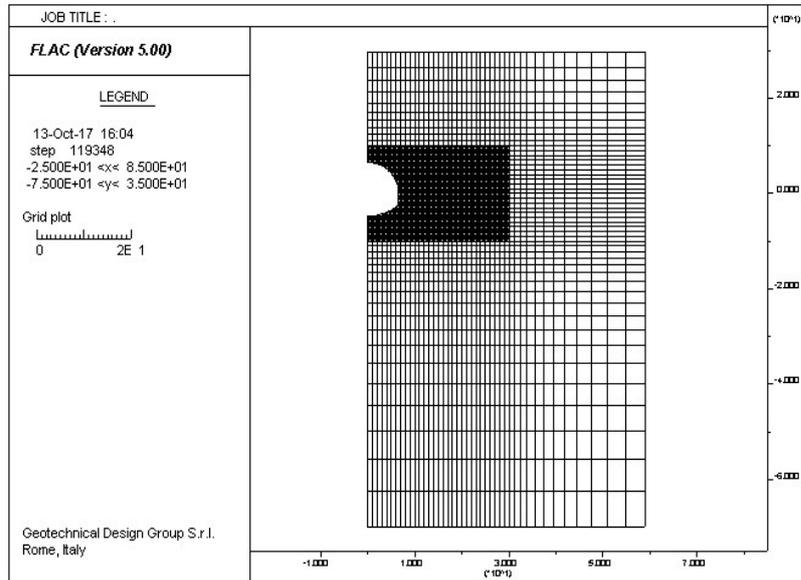


Figura 2: Sezione tipo A1, geometria della *mesh* dell'analisi numerica.

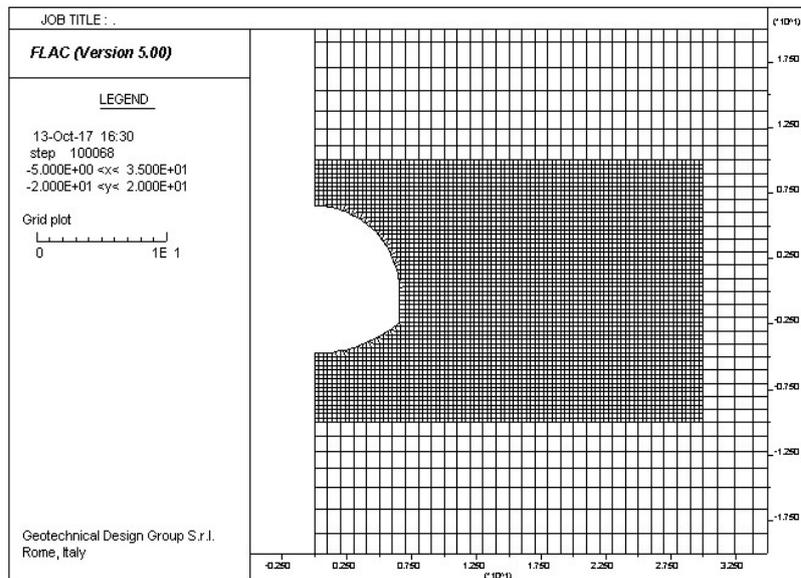


Figura 3: Sezione tipo A1, dettaglio della geometria della *mesh* nell'intorno della galleria.

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

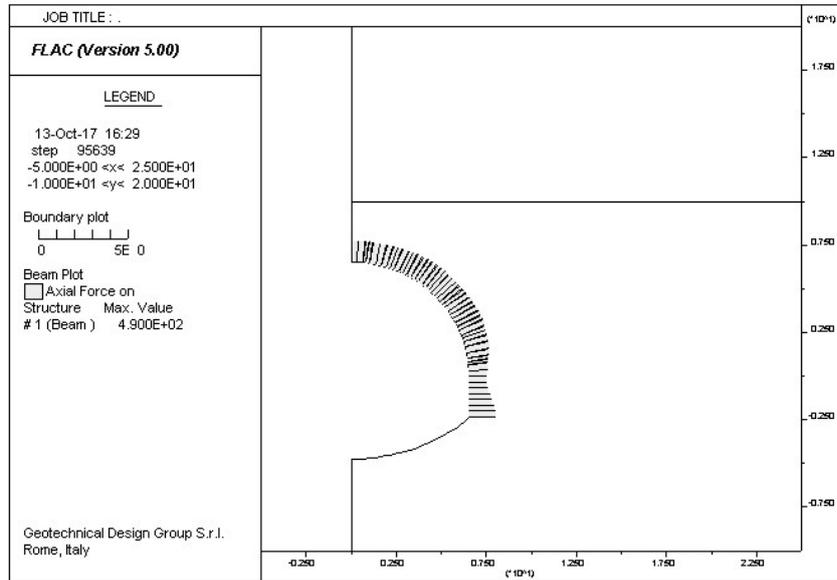


Figura 4: Sezione tipo A1, sforzo normale sul preinvestimento centine+spritz.

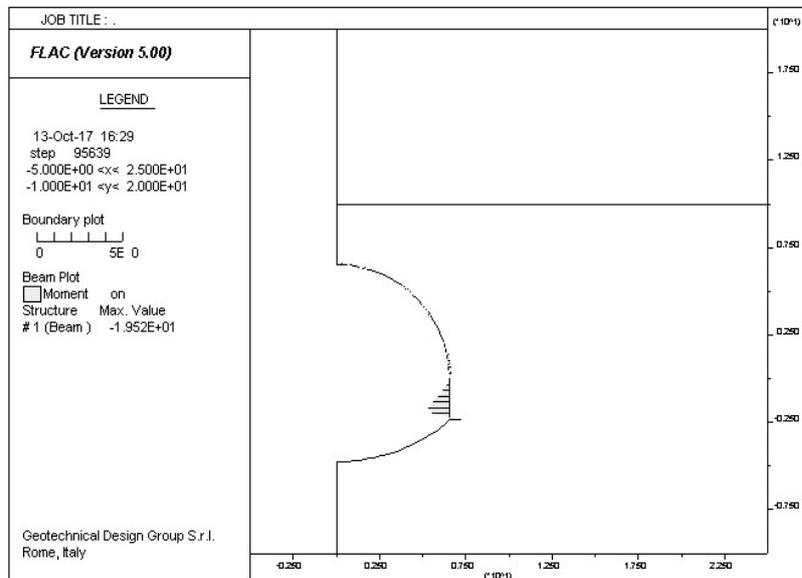


Figura 5: Sezione tipo A1, momento flettente sul preinvestimento centine+spritz.

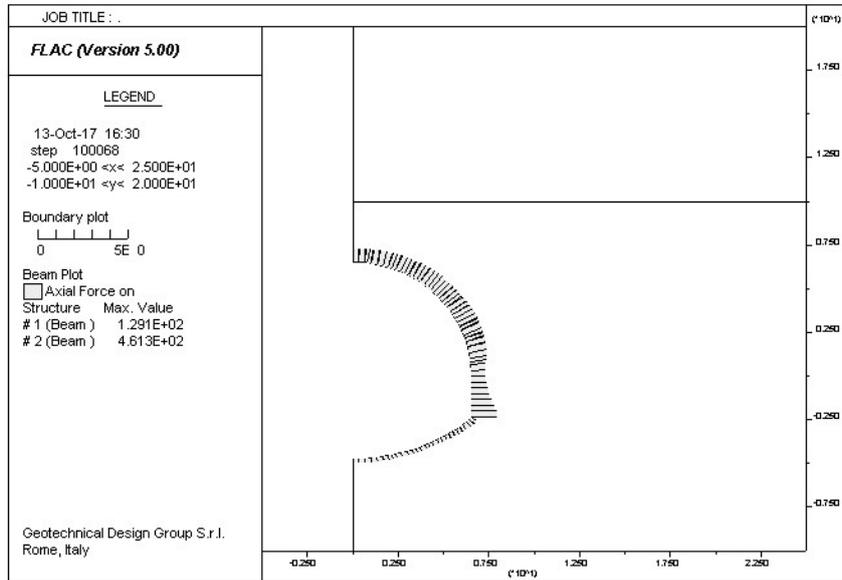


Figura 6: Sezione tipo A1, sforzo normale sul rivestimento definitivo.

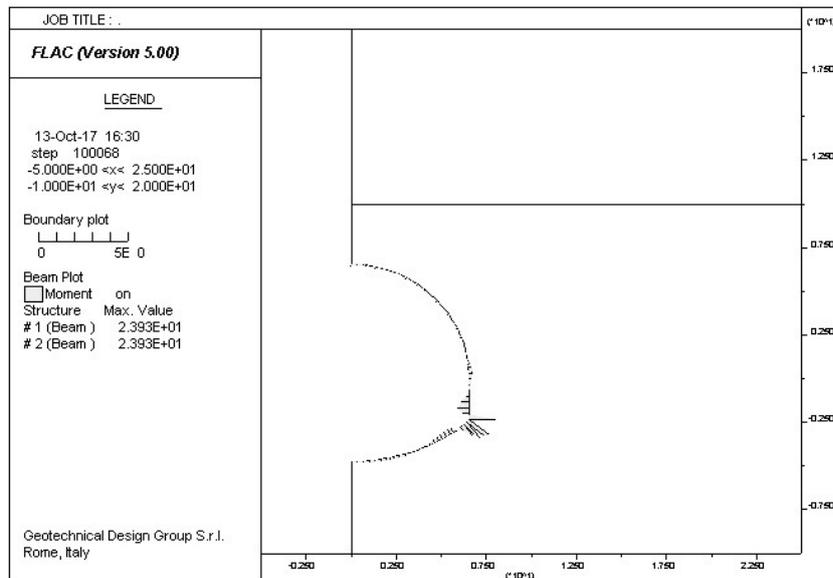


Figura 7: Sezione tipo A1, momento flettente sul rivestimento definitivo.

8. VERIFICHE STRUTTURALI

8.1 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 2 – cfr. Tabella 6.2.I NTC 2008).

Tabella 2: 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 3 (cfr. Tabella 3, 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 4 e Tabella 5 (cfr. Tab. C4.1.II e C4.1.III, Circ. 02/02/09 n. 617).

Tabella 3: 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 4: 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 5: 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	-

8.2 VERIFICA SEZIONE TIPO A1

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

8.2.1 Rivestimento provvisorio (centine + spritz beton)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 8.1. 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:

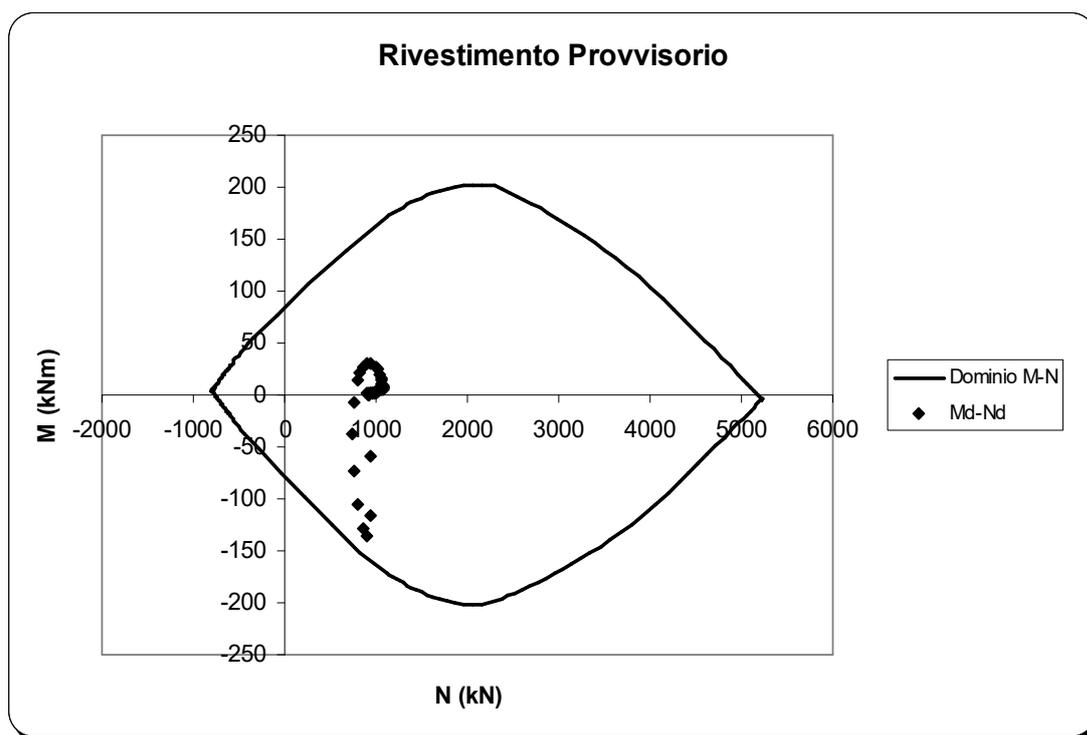


Figura 8: Sezione tipo A1, dominio di resistenza SLU del rivestimento provvisorio.

8.2.2 Rivestimento definitivo (arco rovescio)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 8.1. 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.

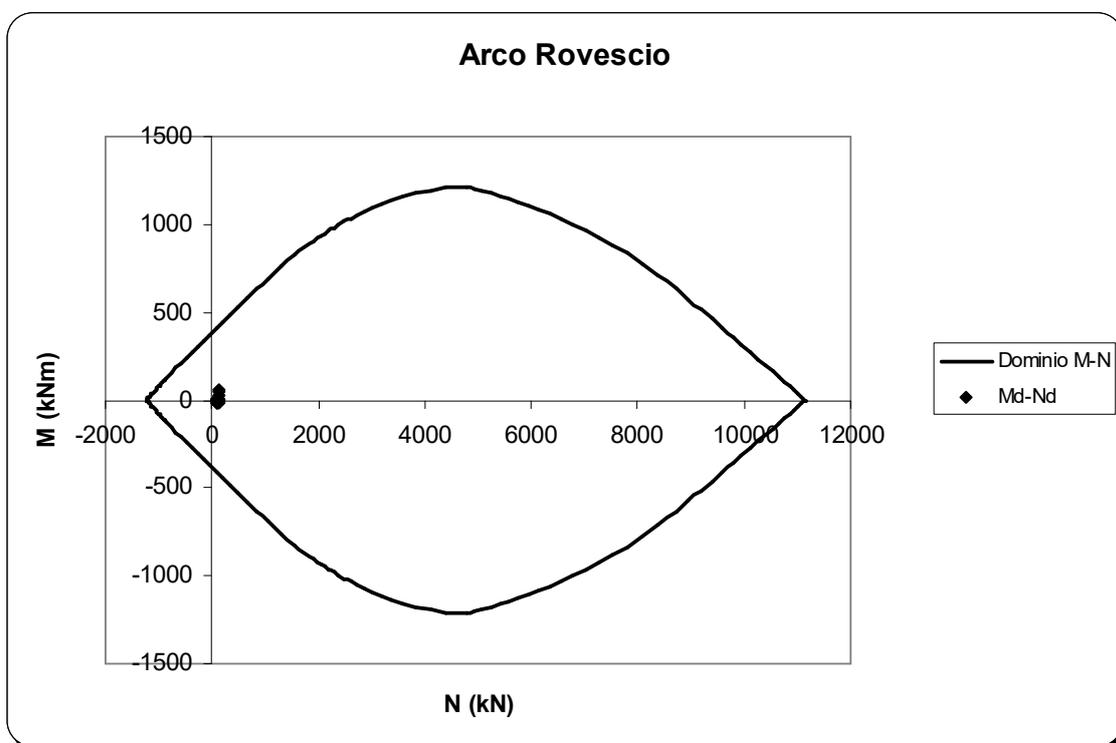


Figura 9: Sezione tipo A1, dominio di resistenza SLU dell'arco rovescio.

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

Tabella 6: Sezione tipo A1, verifica SLE dell'arco rovescio.

H (mm)	c (mm)	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	N_d (kN)	M_d (kNm)	x_n (cm)	σ_c (MPa)	σ_s (MPa)
700	50	15.71	15.71	102.2	23.1	45.94	0.424	2.64

$$\sigma_c = 0.424 \text{ MPa} < 11.2 \text{ MPa};$$

$$\sigma_s = 2.64 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa.}$$

La sezione risulta verificata.

8.2.3 Rivestimento definitivo (calotta)

Le verifiche sono state eseguite considerando una sezione in calcestruzzo armato secondo le disposizioni riportate nel paragrafo 8.1. 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.

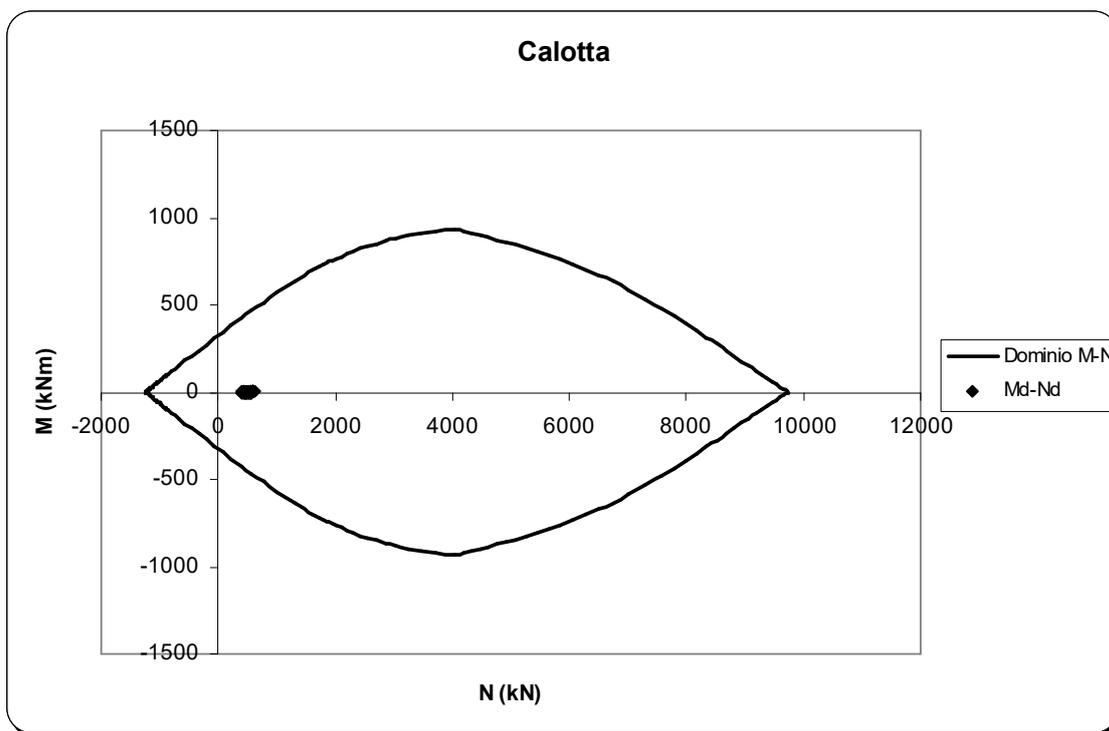


Figura 10: Sezione tipo A1, dominio di resistenza SLU della calotta.

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

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

Tabella 7: 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	426.6	34.2	-	0.675	-

La sezione risulta interamente compressa.

9. 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:

- stazioni di misura delle convergenze a cinque chiodi;
- stazioni di misura dello stato tensionale nei rivestimenti provvisori mediante celle di carico al di sotto del piede della centina e barrette estensimetriche da posizionarsi sull'anima del profilato delle centine;
- stazioni di misura dello stato tensionale nei rivestimenti definitivi mediante barrette estensimetriche annegate nei getti.

Il monitoraggio è organizzato in modo da poter disporre di stazioni *standard*, caratterizzate dalla sola misura delle convergenze, e stazioni di misura speciali le quali, oltre la misura delle convergenze, sono caratterizzate dalla presenza di *strain gauges* nelle centine e nel rivestimento definitivo e celle di carico al di sotto del piede della centina. Si prevede di inserire per l'intero sviluppo della galleria la sezione di monitoraggio *standard* con passo 10-15 m e quella speciale con passo 20-25 m.

10. TABULATI DI INPUT FLAC 5.0

10.1 SEZIONE TIPO A1

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

model elastic i=99,116 j=39,56
gen 400.0,80.0 400.0,140.0 600.0,140.0 600.0,80.0 ratio 1.0,1.12 i 117 137 &
j 39 57
model elastic i=117,136 j=39,56
gen 0.0,140.0 0.0,380.0 200.0,380.0 200.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 1 21 j 57 &
81
model elastic i=1,20 j=57,80
gen 200.0,140.0 200.0,380.0 270.0,380.0 270.0,140.0 ratio 0.88,1.0 i 21 39 &
j 57 81
model elastic i=21,38 j=57,80
gen 270.0,140.0 270.0,380.0 330.0,380.0 330.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 39 99 j &
57 81
model elastic i=39,98 j=57,80
gen 330.0,140.0 330.0,380.0 400.0,380.0 400.0,140.0 ratio 1.13,1.0 i 99 117 &
j 57 81
model elastic i=99,116 j=57,80
gen 400.0,140.0 400.0,380.0 600.0,380.0 600.0,140.0 ratio 1.0,1.0 i 117 137 &
j 57 81
model elastic i=117,136 j=57,80
attach aside from 39 19 to 99 19 bside from 140 1 to 320 1
attach aside from 39 39 to 39 19 bside from 140 61 to 140 1
attach aside from 140 61 to 320 61 bside from 39 39 to 99 39
attach aside from 320 61 to 320 1 bside from 99 39 to 99 19
;-----
;Centramento della griglia
ini y add -70
ini X add -300
ini y 54.66 i 1 137 j 55
ini y 50 i 1 137 j 54
ini y 44.66 i 1 137 j 53
ini y 40 i 1 137 j 52
ini y 35 i 1 137 j 51
;Analisi simmetrica
model null i 1 68 j 1 18
group 'null' i 1 68 j 1 18
group delete 'null'
model null i 1 38 j 19 38
group 'null' i 1 38 j 19 38
group delete 'null'
model null i 140 229 j 1 60
group 'null' i 140 229 j 1 60
group delete 'null'
model null i 1 68 j 39 80
group 'null' i 1 68 j 39 80
group delete 'null'

```
;------riduzione estensione laterale della mesh---  
model null i 111 136  
;------riduco copertura  
;------abbasso la copertura della mesh fino a 23 m  
model null i 1 136 j 55 80  
group 'null' i 1 136 j 55 80  
group delete 'null'  
;  
model null i 69 110 j 49 53  
group 'null' i 69 110 j 49 53  
group delete 'null'  
model null i 70 110 j 54  
group 'null' i 70 110 j 54  
group delete 'null'  
model null i 69 j 54  
group 'null' i 69 j 54  
group delete 'null'  
;  
gen 0,10 0,29.55 30,29.55 30,10 i 69 99 j 39 49 ratio 1,1.12  
gen 30,10 30,29.55 59.088835,29.55 59.088835,10 i 99 111 j 39 49 ratio &  
1.13,1.12  
;  
;=====tracciamento sagoma gallerie=====  
;sagoma preesistente  
;generazione contorni scavo (baricentrico)  
gen line 5.4335,0.44 5.4335,-1.4603  
gen arc 0,6.3559 5.4335,-1.4603 -35  
gen arc 0,0.44 5.433,0.44 90  
;sagoma in allargo  
gen line 6.55,0 6.55,-2.4061  
gen arc 0,0 0,6.55 -90  
gen arc 0,5.6043 6.55,-2.4061 -39.27  
;aggiustamento coordinate contorni  
ini y -4.7431 i 230 j 17  
ini y 6.55 i 230 j 51  
ini y -1.5 i 246 j 26  
ini x 6.42 y -2.5 i 249 j 24  
mark i 246 j 26  
mark i 249 j 24  
mark i 249 j 24  
mark i 230 j 17  
mark i 230 j 51  
;===== condizioni al contorno =====  
fix y i 69 111 j 1  
fix x i 69 j 1 19
```

```
fix x i 230 j 1 61
fix x i 69 j 39 55
fix x i 111 j 1 55
;-----assegnazione delle proprietà del materiale
group 'User:B'
model mohr notnull group 'User:B'
prop density=2.3 bulk=22.2E5 shear=7.4E5 cohesion=155.0 friction=40 &
dilation=0.0 tension=0.0 group 'User:B'
group 'User:A' notnull i 69 110 j 53 54
model mohr notnull group 'User:A'
prop density=1.9 bulk=2.67E4 shear=1.6E4 cohesion=30.0 friction=28.0 &
dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:A'
set flow off
set mech on
unmark
;=====
;===== generazione della gallerie =====
;=====
;fish per registrare i punti marcati al contorno della galleria
def get_mark_back
loop i ( 1,igp)
loop j (1,jgp)
if ex_3(l,j) = 1 then
flags(i,j) = flags (l,j)+128
endif
endloop
endloop
end
;sagoma preesistente
;generazione contorni scavo (baricentrico)
gen line 5.4335,0.44 5.4335,-1.4603
gen arc 0,6.3559 5.4335,-1.4603 -35
gen arc 0,0.44 5.433,0.44 90
;sagoma in allargo
gen line 6.55,0 6.55,-2.4061
gen arc 0,0 0,6.55 -90
gen arc 0,5.6043 6.55,-2.4061 -39.27
;aggiustamento coordinate contorni
ini y -4.7431 i 230 j 17
ini y 6.55 i 230 j 51
ini y -1.5 i 246 j 26
ini x 6.42 y -2.5 i 249 j 24
mark i 246 j 26
mark i 249 j 24
mark i 249 j 24
```

```
mark i 230 j 17
mark i 230 j 51
;smarco i contorni dell'allargo per evitare che si prendano i rilasci nella prima fase
unmark i 230 235 j 50 51
unmark i 236 239 j 49 50
unmark i 239 242 j 47 48
unmark i 242 244 j 45 46
unmark i 244 246 j 42 44
unmark i 247 248 j 39 42
unmark i 248 249 j 24 38
unmark i 250 j 24 33
unmark i 243 249 j 19 23
unmark i 230 242 j 17 19
ini ex_3 = 1 mark
;=====
;=====TIMEO ; GEOSTATICO =====
;=====
;---inizializzazione stato di sforzo in sito
ini syy -449.65 var 0,449.65 i=69 110 j 39 48
ini syy -909.65 var 0,460 i=230 319 j 1 60
ini syy -909.65 var 0,460 i=99 110 j 19 38
ini syy -2289.65 var 0,1380 i 69 110 j 1 18
ini sxx -359.72 var 0,359.72 i=69 110 j 39 48
ini sxx -727.72 var 0,368 i=230 319 j 1 60
ini sxx -727.72 var 0,368 i=99 110 j 19 38
ini sxx -1831.72 var 0,1104 i 69 110 j 1 18
ini szz -359.72 var 0,359.72 i=69 110 j 39 48
ini szz -727.72 var 0,368 i=230 319 j 1 60
ini szz -727.72 var 0,368 i=99 110 j 19 38
ini szz -1831.72 var 0,1104 i 69 110 j 1 18
set flow off
set mech on
;history
history 4 unbalanced
;settaggi e fissaggi
set gravity=10.0
; verifica equilibrio
set force 2e-3
set sratio 1e-6
solve
;=====scavo galleria esistente
;settaggio a zero degli spostamenti di inizializzazione
ini xdisp 0 ydisp 0
ini xvel 0 yvel 0
unmark
```

```
call fse$.fis
get_mark_back
;rimozione continuo galleria esistente
model null region 230 32
fix x y mark
step 100
;trova lo stato di sforzo litostatico sul contorno della galleria
find_rf
set force 0.005
;risoluzione del primo equilibrio per la registrazione delle forze sul contorno scavo
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvel 0 yvel 0
;libero i punti sul contorno di scavo
free x y mark
;refixo i punti del contorno scavo sull'asse di simmetria (vincolati con carrello)
fix x i 230 j 22
fix x i 230 j 49
;---rilascio del 30% del carico litostatico
set relax=0.05
set force 0.1
;calotta
history 5 ydisp i=230 j=49
history 6 szz i=230 j=49
;pedritto
history 7 xdisp i=246 j=31
history 8 sxx i=246 j=31
;arcorovescio
history 9 ydisp i=230 j=22
history 10 syy i=230 j=21
solve
set relax 0.1
app_rf
solve
set relax 0.15
app_rf
solve
set relax 0.20
app_rf
solve
set relax 0.25
app_rf
solve
set relax 0.30
app_rf
```

solve

; messa in opera centine+spritz

struct prop 1001 a 0.276 i 0.00143 e 3.12e7 dens 2.2

struct node 1 grid 230,49

struct node 2 grid 231,49

struct node 3 grid 232,49

struct node 4 grid 232,48

struct node 5 grid 233,48

struct node 6 grid 234,48

struct node 7 grid 235,48

struct node 8 grid 236,48

struct node 9 grid 236,47

struct node 10 grid 237,47

struct node 11 grid 238,47

struct node 12 grid 238,46

struct node 13 grid 239,46

struct node 14 grid 240,46

struct node 15 grid 240,45

struct node 16 grid 241,45

struct node 17 grid 241,44

struct node 18 grid 242,44

struct node 19 grid 242,43

struct node 20 grid 243,43

struct node 21 grid 243,42

struct node 22 grid 243,41

struct node 23 grid 244,41

struct node 24 grid 244,40

struct node 25 grid 245,40

struct node 26 grid 245,39

struct node 27 grid 245,38

struct node 28 grid 245,37

struct node 29 grid 246,37

struct node 30 grid 246,36

struct node 31 grid 246,35

struct node 32 grid 246,34

struct node 33 grid 246,33

struct node 34 grid 246,32

struct node 35 grid 246,31

struct node 36 grid 246,30

struct node 37 grid 246,29

struct node 38 grid 246,28

struct node 39 grid 246,27

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 node 1 fix x r
```

;=====rilascio fino al 90% sulle centine in funzione della distanza cui segue il fronte il definitivo=====

```
set relax 0.35
```

```
app_rf
```

```
solve
```

```
set relax 0.40
```

```
app_rf
```

```
solve
```

```
set relax 0.45
```

```
app_rf
```

```
solve
set relax 0.50
app_rf
solve
set relax 0.55
app_rf
solve
set relax 0.60
app_rf
solve
set relax 0.65
app_rf
solve
set relax 0.70
app_rf
solve
set relax 0.75
app_rf
solve
set relax 0.80
app_rf
solve
set relax 0.85
app_rf
solve
set relax 0.90
app_rf
solve
;=====
;=====TIME 2=====
;=====
; --messa in opera del rivestimento -----
; messa in opera dell'arcorovescio
;proprietà arco rovescio
struc prop 1002 a 0.70 i 0.0285 e 3.12e7 dens 2.5
;
struct node 40 grid 246,26
struct node 41 grid 245,26
struct node 42 grid 245,25
struct node 43 grid 244,25
struct node 44 grid 243,25
struct node 45 grid 243,24
struct node 46 grid 242,24
struct node 47 grid 241,24
struct node 48 grid 240,24
```

```
struct node 49 grid 240,23
struct node 50 grid 239,23
struct node 51 grid 238,23
struct node 52 grid 237,23
struct node 53 grid 237,22
struct node 54 grid 236,22
struct node 55 grid 235,22
struct node 56 grid 234,22
struct node 57 grid 233,22
struct node 58 grid 232,22
struct node 59 grid 231,22
struct node 60 grid 230,22

struct beam begin node 39 end node 40 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 40 end node 41 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 41 end node 42 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 42 end node 43 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 43 end node 44 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 44 end node 45 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 45 end node 46 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 46 end node 47 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 47 end node 48 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 48 end node 49 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 49 end node 50 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1002
struct node 60 fix x r
;
;riduzione del 98% del carico geostatico
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=0.98
app_rf
solve
;inserimento calotta
;proprietà calotta
struc prop 1003 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
```

```
struct beam begin node 1 end node 2 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 2 end node 3 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 3 end node 4 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 4 end node 5 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 5 end node 6 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 6 end node 7 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 7 end node 8 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 8 end node 9 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 9 end node 10 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 10 end node 11 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 11 end node 12 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 12 end node 13 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 13 end node 14 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 14 end node 15 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 15 end node 16 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 16 end node 17 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 17 end node 18 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 18 end node 19 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 19 end node 20 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 20 end node 21 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 21 end node 22 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 22 end node 23 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 23 end node 24 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 24 end node 25 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 25 end node 26 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 26 end node 27 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 27 end node 28 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 28 end node 29 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 29 end node 30 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 30 end node 31 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 31 end node 32 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 32 end node 33 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 33 end node 34 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 34 end node 35 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 35 end node 36 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 36 end node 37 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 37 end node 38 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 38 end node 39 seg 1 prop 1003
;riduzione del 100% del carico geostatico
set relax=1
app_rf
solve
struct beam delete 1 38
solve
;=====fine dell'ante operam=====
```

```
=====rimozione del rivestimento esistente=====
struc beam delete
=====allargo della sezione della galleria=====
unmark
ini ex_3 = 0
;sagoma in allargo
gen line 6.55,0 6.55,-2.4061
gen arc 0,0 0,6.55 -90
gen arc 0,5.6043 6.55,-2.4061 -39.27
ini ex_3 = 1 mark
get_mark_back
=====remark del bordo scavo=====
gen line 6.55,0 6.55,-2.4061
gen arc 0,0 0,6.55 -90
gen arc 0,5.6043 6.55,-2.4061 -39.27
ini y -4.7431 i 230 j 17
ini y 6.55 i 230 j 51
ini y -1.5 i 246 j 26
ini x 6.42 y -2.5 i 249 j 24
;annullamento della zona di sovrascavo
model null region 243 41
;registrazione delle forze al contorno
fix x y mark
step 100
;trova lo stato di sforzo litostatico sul contorno della galleria
find_rf
set force 0.005
;risoluzione del primo equilibrio per la registrazione delle forze sul contorno scavo
solve
initial xdisp 0 ydisp 0
initial xvcl 0 yvel 0
;libero i punti sul contorno di scavo
free x y mark
;refixo i punti del contorno scavo sull'asse di simmetria (vincolati con carrello)
fix x i 230 j 17
fix x i 230 j 51
;---rilascio del 30% del carico litostatico
set relax=0.05
;calotta nuovo contorno scavo
history 11 ydisp i=230 j=51
history 12 szz i=230 j=51
;pedritto nuovo contorno scavo
history 13 xdisp i=250 j=31
history 14 sxx i=250 j=31
;arco rovescio nuovo contorno scavo
```

```
history 15 ydisp i=230 j=17
history 16 syy i=230 j=16
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
; messa in opera centine+spritz
struct prop 1001 a 0.276 i 0.00143 e 3.12e7 dens 2.2
struct node 1 grid 230,51
struct node 2 grid 231,51
struct node 3 grid 232,51
struct node 4 grid 232,50
struct node 5 grid 233,50
struct node 6 grid 234,50
struct node 7 grid 235,50
struct node 8 grid 236,50
struct node 9 grid 237,50
struct node 10 grid 237,49
struct node 11 grid 238,49
struct node 12 grid 239,49
struct node 13 grid 239,48
struct node 14 grid 240,48
struct node 15 grid 241,48
struct node 16 grid 241,47
struct node 17 grid 242,47
struct node 18 grid 242,46
struct node 19 grid 243,46
struct node 20 grid 243,45
struct node 21 grid 244,45
struct node 22 grid 244,44
struct node 23 grid 245,44
struct node 24 grid 245,43
```

struct node 25 grid 246,43
struct node 26 grid 246,42
struct node 27 grid 247,42
struct node 28 grid 247,41
struct node 29 grid 247,40
struct node 30 grid 248,40
struct node 31 grid 248,39
struct node 32 grid 248,38
struct node 33 grid 249,38
struct node 34 grid 249,37
struct node 35 grid 249,36
struct node 36 grid 249,35
struct node 37 grid 249,34
struct node 38 grid 249,33
struct node 39 grid 250,33
struct node 40 grid 250,32
struct node 41 grid 250,31
struct node 42 grid 250,30
struct node 43 grid 250,29
struct node 44 grid 250,28
struct node 45 grid 250,27
struct node 46 grid 250,26
struct node 47 grid 250,25
struct node 48 grid 250,24
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
```

```
struc node 1 fix x r
```

```
set relax 0.35
app_rf
solve
set relax 0.40
app_rf
solve
set relax 0.45
app_rf
solve
set relax 0.50
app_rf
solve
set relax 0.55
app_rf
solve
set relax 0.60
```

```
app_rf
solve
set relax 0.65
app_rf
solve
set relax 0.70
app_rf
solve
set relax 0.75
app_rf
solve
set relax 0.80
app_rf
solve
set relax 0.85
app_rf
solve
set relax 0.90
app_rf
solve
; --messa in opera del rivestimento -----
; messa in opera dell'arcovescio
;propriet arco rovescio
struc prop 1002 a 0.70 i 0.0285 e 3.12e7 dens 2.5
struct node 49 grid 249,24
struct node 50 grid 249,23
struct node 51 grid 248,23
struct node 52 grid 248,22
struct node 53 grid 247,22
struct node 54 grid 246,22
struct node 55 grid 246,21
struct node 56 grid 245,21
struct node 57 grid 245,20
struct node 58 grid 244,20
struct node 59 grid 243,20
struct node 60 grid 243,19
struct node 61 grid 242,19
struct node 62 grid 241,19
struct node 63 grid 240,19
struct node 64 grid 240,18
struct node 65 grid 239,18
struct node 66 grid 238,18
struct node 67 grid 237,18
struct node 68 grid 237,17
struct node 69 grid 236,17
```

```
struct node 70 grid 235,17
struct node 71 grid 234,17
struct node 72 grid 233,17
struct node 73 grid 232,17
struct node 74 grid 231,17
struct node 75 grid 230,17
struct beam begin node 48 end node 49 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 49 end node 50 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 50 end node 51 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 51 end node 52 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 52 end node 53 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 53 end node 54 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 54 end node 55 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 55 end node 56 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 56 end node 57 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 57 end node 58 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 58 end node 59 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 59 end node 60 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 60 end node 61 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 61 end node 62 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 62 end node 63 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 63 end node 64 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 64 end node 65 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 65 end node 66 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 66 end node 67 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 67 end node 68 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 68 end node 69 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 69 end node 70 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 70 end node 71 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 71 end node 72 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 72 end node 73 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 73 end node 74 seg 1 prop 1002
struct beam begin node 74 end node 75 seg 1 prop 1002
struc node 75 fix x r
;riduzione del 98% del carico geostatico
set relax=0.95
app_rf
solve
set relax=0.98
app_rf
solve
;inserimento calotta
;propriet calotta
struc prop 1003 a 0.6 i 0.018 e 3.12e7 dens 2.5
struct beam begin node 1 end node 2 seg 1 prop 1003
```

struct beam begin node 2 end node 3 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 3 end node 4 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 4 end node 5 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 5 end node 6 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 6 end node 7 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 7 end node 8 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 8 end node 9 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 9 end node 10 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 10 end node 11 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 11 end node 12 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 12 end node 13 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 13 end node 14 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 14 end node 15 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 15 end node 16 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 16 end node 17 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 17 end node 18 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 18 end node 19 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 19 end node 20 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 20 end node 21 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 21 end node 22 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 22 end node 23 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 23 end node 24 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 24 end node 25 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 25 end node 26 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 26 end node 27 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 27 end node 28 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 28 end node 29 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 29 end node 30 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 30 end node 31 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 31 end node 32 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 32 end node 33 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 33 end node 34 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 34 end node 35 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 35 end node 36 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 36 end node 37 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 37 end node 38 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 38 end node 39 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 39 end node 40 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 40 end node 41 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 41 end node 42 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 42 end node 43 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 43 end node 44 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 44 end node 45 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 45 end node 46 seg 1 prop 1003
struct beam begin node 46 end node 47 seg 1 prop 1003

```
struct beam begin node 47 end node 48 seg 1 prop 1003  
;riduzione del 100% del carico geostatico  
set relax=1  
app_rf  
solve  
struct beam delete 98 144  
solve
```