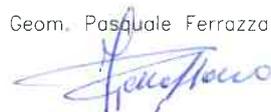
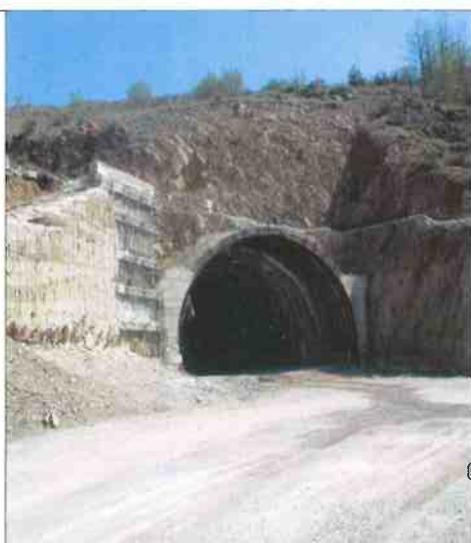
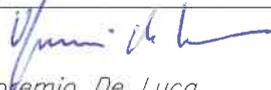
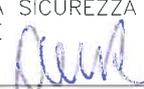




AUTOSTRADA A3 SALERNO – REGGIO CALABRIA  
 LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI ACCESSO ALLA GALLERIA SERRA  
 ROTONDA IN DIR. SUD DA PARTE DEI V.V.FF. MEDIANTE LA MESSA IN SICUREZZA  
 DELLA FINESTRA D'ACCESSO REALIZZATA NELL'AMBITO DEI LAVORI DI  
 AMMODERNAMENTO ED ADEGUAMENTO AL TIPO 1/A DELLE NORME CNR/80 DAL KM  
 139+000 AL KM 148+000

### PROGETTO DEFINITIVO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE Geom. Enzo Risoli Geom. Pasquale Ferrazzano 		IL RESPONSABILE DELLE VERIFICHE STRUTTURALI Dott. Ing. Andrea Antiga Ordine Ing. Prov. Milano n° 18590
IL GEOLOGO Dott. Geol. Upremio De Luca 	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE Geom. Enzo Risoli 	DATA
IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Dott. Ing. Antonio Citarella 	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. Francesco Ruocco 	PROTOCOLLO



## D.1 – GALLERIA NATURALE "FINESTRA" (GN01) GALLERIA NATURALE VERIFICA STRUTTURALE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. ASR311      E      1601		P01GN01OSTRE01_A.dwg		A	-
CODICE ELAB.		P01GN01OSTRE01			
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	30/06/16	CRIPPA	ANTIGA	ANTIGA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

**OPERE D'ARTE MAGGIORI  
GALLERIA NATURALE SERRA ROTONDA – FINESTRA DI ACCESSO –  
VERIFICA STRUTTURALE DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO DELLA  
GALLERIA NATURALE**

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
2.1. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI .....	4
2.2. ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO .....	4
<b>3. QUADRO GEOLOGICO E GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE.....</b>	<b>6</b>
<b>5. CRITERI DI PROGETTAZIONE .....</b>	<b>7</b>
5.1. ANALISI NUMERICHE: PROGRAMMA DI CALCOLO.....	7
5.2. MODALITÀ DI ANALISI .....	7
5.3. VERIFICHE STRUTTURALI .....	7
5.3.1. VERIFICA RIVESTIMENTO DEFINITIVO (SLU) .....	7
<b>6. SEZIONE DI CALCOLO.....</b>	<b>9</b>
6.1. DETERMINAZIONE DELLE FORZE FITTIZIE DI SCAVO .....	9
6.2. MODELLAZIONE NUMERICA DELLE FASI DI SCAVO .....	10
6.3. RISULTATI .....	11
6.4. RISULTATI: VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI .....	11
<b>ALLEGATI .....</b>	<b>13</b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche strutturali del rivestimento definitivo del tratto in naturale della galleria avente funzione di finestra di accesso intermedia della galleria naturale Serra Rotonda, dell'Autostrada A3 Salerno-Reggio Calabria.

Allo stato attuale, la finestra intermedia di accesso risulta già interamente scavata e sono stati applicati i seguenti interventi previsti nel Progetto Esecutivo:

- per il primo tratto della finestra di accesso a partire dall'innesto (tratto di lunghezza pari a 45 m): rivestimento di prima fase costituito da centine (HEB 180/0.5 m) e spritz beton dello spessore di 30 cm, con arco rovescio di spessore pari a 60 cm;
- per il restante tratto della finestra di accesso: rivestimento costituito da centine (HEB 180/1,0 m) e spritz beton dello spessore di 30 cm, con arco rovescio di spessore pari a 40 cm.

Il Progetto Esecutivo non prevedeva l'esecuzione del rivestimento definitivo; esso viene ora previsto a favore di sicurezza e con funzione di finitura.

Nel prosieguo della presente relazione vengono illustrate le analisi numeriche sviluppate con il software alle differenze finite FLAC 2D vers. 8.0 e le relative verifiche strutturali.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

La redazione della presente relazione è stata condotta nel rispetto della normativa in vigore, in particolare:

- 2.1.1 D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n°29 del 4 Febbraio 2008).
- 2.1.2 Circolare 2 Febbraio 2009, n.617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove "Norme Tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/1/2008" (G.U. n. 47 del 26 Febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n.°27).

### 2.2. ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO

Le presenti verifiche sono state condotte con riferimento:

- 2.2.1 al pacchetto degli elaborati del presente progetto con particolare riferimento alla relazione geologica.
- 2.2.2 agli elaborati del Progetto Esecutivo dei lavori di ammodernamento ed adeguamento del tipo 1/a delle norme CNR/80 dal km 139+000 al km 148+000.

### 3. QUADRO GEOLOGICO E GEOMECCANICO DI RIFERIMENTO

La finestra di accesso intermedia alla galleria naturale Serra Rotonda si sviluppa interamente all'interno delle Formazioni dell'unità carbonatica di Monte Pollino, consistenti in calcari e calcareniti gradate e in calcari dolomitici, con copertura massime di circa 75 m.

Dalle indagini effettuate lungo il tracciato, il livello della falda risulta sempre inferiore alla quota di progetto della galleria.

Per le caratteristiche meccaniche e di deformabilità dell'ammasso roccioso si rimanda alla "Relazione Geologica" del presente progetto.

La caratterizzazione geotecnica della roccia interessata dallo scavo della finestra è riportata nella relazione del PE (cod. P00GN01STRTR01\_A); i valori dei parametri geotecnici sono riassunti nella seguente tabella (rocce calcaree alterate/fratturate e rocce calcaree sane).

<b>Rocce Calcaree alterate– Fascia 0 / -12 m</b>	
Peso specifico $\gamma$	19 KN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico Ed	60 MPa
Coesione c'	0 kPa
Angolo d'attrito $\phi'$	40°

<b>Rocce Calcaree – Al di sotto di -12 m</b>	
Peso specifico $\gamma$	22 KN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico Ed	800 MPa
Coesione c'	100 kPa
Angolo d'attrito $\phi'$	25°

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

### CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA:

- Calcestruzzo classe C25/30

Per le verifiche allo SLU si utilizzano i seguenti coefficienti parziali e i seguenti valori delle resistenze di progetto:

- Resistenza di calcolo a compressione:  $f_{cd} = 0.85 \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 25 / 1.5 = 14.16 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo a trazione:  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.795 / 1.5 = 1.197 \text{ MPa}$

## 5. CRITERI DI PROGETTAZIONE

### 5.1. ANALISI NUMERICHE: PROGRAMMA DI CALCOLO

Per il calcolo numerico del campo di spostamento e delle sollecitazioni nel terreno e successivamente negli elementi strutturali è stato utilizzato il codice di calcolo FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua), prodotto dalla società Itasca, Minneapolis, U.S.A. sia nella versione bidimensionale che tridimensionale.

Il programma è stato espressamente sviluppato per la soluzione di problemi al contorno relativi a terreni e opere geotecniche; esso in particolare include la possibilità di modellare gli elementi strutturali tipicamente utilizzati in tale ambito, quali ancoraggi, oltre ad elementi più comuni, quali gli elementi trave.

Il campo di spostamento del terreno viene discretizzato secondo una tecnica numerica mista, che include le caratteristiche dei metodi alle differenze finite (D.F., calcolo derivate) e agli elementi finiti (F.E.M., funzioni di forma). Rispetto alla classica formulazione alle D.F. FLAC non è vincolato all'utilizzo di maglie rettangolari di nodi, mentre, a differenza dei metodi F.E.M., non richiede ampie risorse di calcolo dovute alla necessità di memorizzare la matrice di rigidità del sistema, grazie alla particolare struttura numerica dell'algoritmo di soluzione.

Peculiarità della formulazione FLAC è che l'algoritmo di soluzione simula il comportamento "dinamico" del sistema. In sostanza le forze non equilibrate ai nodi si traducono nell'accelerazione dei nodi.

In questo senso l'equilibrio viene determinato come situazione limite per la quale le forze non equilibrate ai nodi sono molto piccole: in questa situazione le accelerazioni tendono ad essere nulle e di conseguenza le velocità costanti. L'equilibrio determinato da FLAC è pertanto in generale di due tipi:

- velocità costanti con modulo tendente a zero: si ha il classico equilibrio statico;
- velocità costanti con modulo piccolo ma non tendente a zero: l'equilibrio è in questo caso di tipo dinamico, con parti del modello in movimento a velocità costante.

### 5.2. MODALITÀ DI ANALISI

L'analisi consiste nell'analizzare una sezione trasversale in condizioni di deformazione piana. Le sezioni riporteranno la reale geometria dello scavo e verranno simulate le varie fasi dell'avanzamento introducendo via via gli interventi di stabilizzazione e sostegno; per ogni fase si terrà conto di una pressione "fittizia", a simulazione del contributo del fronte di scavo, il cui valore è funzione della distanza dal fronte di scavo a cui avviene la fase.

### 5.3. VERIFICHE STRUTTURALI

#### 5.3.1. Verifica rivestimento definitivo (SLU)

Il rivestimento definitivo è stato dimensionato con riferimento alla combinazione A1+M1+R1 prevista dalle NTC 2008 che risulta maggiormente gravosa per gli elementi strutturali.

In particolare le sollecitazioni determinate dalle analisi numeriche sono state amplificate per il coefficiente 1.3.

## 6. SEZIONE DI CALCOLO

Il modello numerico bidimensionale utilizzato ha una larghezza pari a 195 m ed un'altezza pari a 145 m. Nell'analisi è stata adottata la sezione in corrispondenza delle massime coperture pari a 75 m.

Un'immagine del modello bidimensionale utilizzato nelle analisi è riportato in .

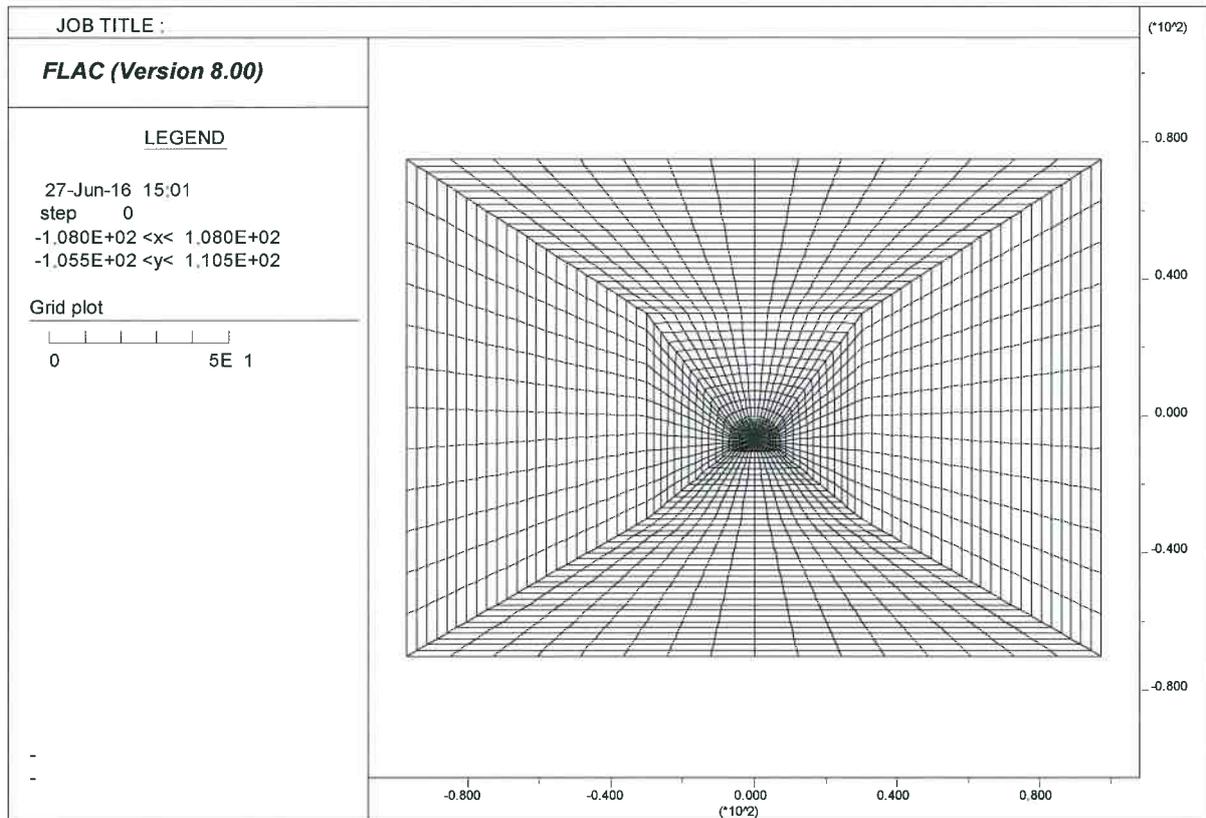


Figura 1 – mesh di calcolo

### 6.1. DETERMINAZIONE DELLE FORZE FITTIZIE DI SCAVO

Nell'analisi della galleria naturale si è fatto riferimento, per quanto riguarda il valore percentuale delle forze fittizie di scavo in funzione della distanza dal fronte e della lavorazione effettuata, al Metodo di Panet considerando un valore del coefficiente  $N_s$  determinato a partire dai parametri geotecnici di riferimento per la formazione interessata dallo scavo della galleria. Nella figura successiva si riporta la curva ottenuta.

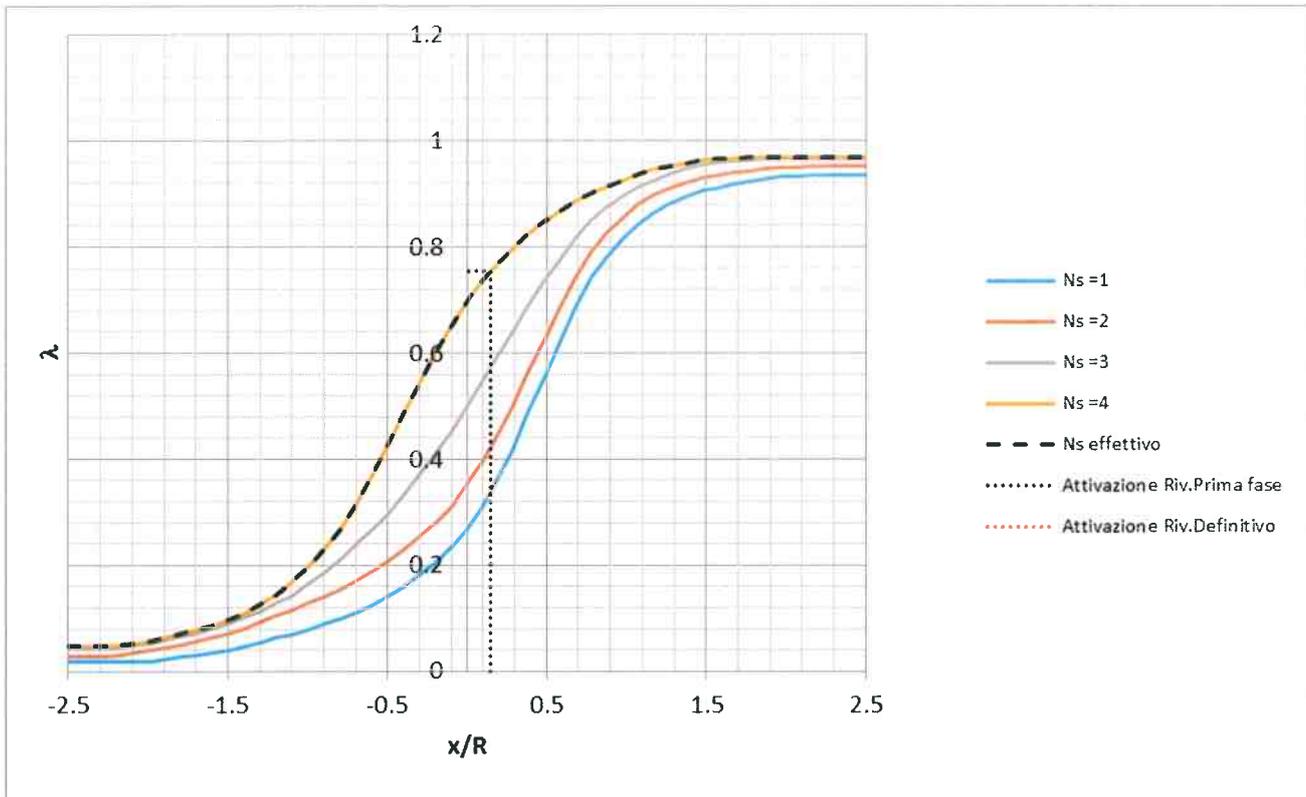


Figura 2 – Curva di Panet

## 6.2. MODELLAZIONE NUMERICA DELLE FASI DI SCAVO

Le fasi di calcolo modellate sono le seguenti:

- **Fase 0** – Geostatico: il modello viene inizializzato assegnando il valore delle tensioni litostatiche.
- **Fase 1** – Determinazione delle FFS (forze fittizie di scavo): in questa fase vengono annullate le zone contenute all'interno del profilo dello scavo. Nei nodi in corrispondenza di tale profilo vengono applicati dei vincoli fittizi. Raggiunto l'equilibrio i vincoli vengono rimossi e al loro posto vengono applicate ai nodi le reazioni vincolari cambiate di segno. Queste reazioni rappresentano le FFS con valore pari al 100 %.
- **Fase 2** – Scavo non sostenuto: viene simulato l'avanzamento senza sostegni. In questa fase per quanto riportato nel capitolo precedente le FFS vengono ridotte sino al 75% del loro valore iniziale (rilassamento 25%).
- **Fase 3** – Attivazione del rivestimento di prima fase: vengono introdotte le opere di sostegno provvisorie costituite da betoncino proiettato di spessore pari a 30 cm e centine in acciaio HEB180/0.5 m. Le caratteristiche di queste strutture sono omogeneizzate al cls e relativamente a 1.0 m di profondità del modello numerico. In questa fase per quanto riportato al precedente le FFS vengono ridotte sino allo 0% del loro valore iniziale (rilassamento 100%).
- **Fase 4** – Attivazione del rivestimento definitivo: viene simulato il getto dell'arco rovescio ( $sp=0.60$  m) del rivestimento definitivo di calotta ( $sp=0.60$  m) a sostituire le proprietà elastiche della centina con quelle del calcestruzzo. In questa fase per quanto riportato al capitolo precedente le FFS risultano pari

allo 0% del loro valore iniziale (rilassamento 100%).

### 6.3. RISULTATI

In allegato vengono riportati i risultati delle analisi numeriche.

Si specifica che nelle figure allegate, dove non diversamente specificato, le unità di misura delle figure sono:

- Forza: Newton
- Lunghezza: m

### 6.4. RISULTATI: VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

Nella figura successiva si riporta la carpenteria del rivestimento definitivo della galleria oggetto di verifica della presente relazione.

Il rivestimento viene previsto in calcestruzzo non armato.

Si riportano di seguito i due domini di rottura per il rivestimento definitivo di calotta e dell'arco rovescio. Tutte le coppie di valori N, M (sforzo normale e momento flettente) risultano contenute all'interno dei domini. Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

Per quanto relativo alla verifiche a taglio di ha che la sollecitazione massima di taglio per la combinazione di carico rara risulta pari a:

- calotta:  $T = 44.98$  kN ottenendo la seguente tensione nel calcestruzzo  $\tau = (3/2) \times T / (0.6 \times l) = 112.45$  kPa = 0.11 MPa
- arco rovescio:  $T = 1.61$  kN ottenendo la seguente tensione nel calcestruzzo  $\tau = (3/2) \times T / (0.6 \times l) = 112.45$  kPa = 0.004 MPa

Con riferimento al paragrafo 4.1.11.1 delle NTC 2008, la tensione tangenziale massima ammissibile risulta pari a  $\tau_c = 0.21 \times f_{ctk} = 0.25$  MPa

Le verifiche a taglio risultano soddisfatte anche in assenza di specifica armatura a taglio.

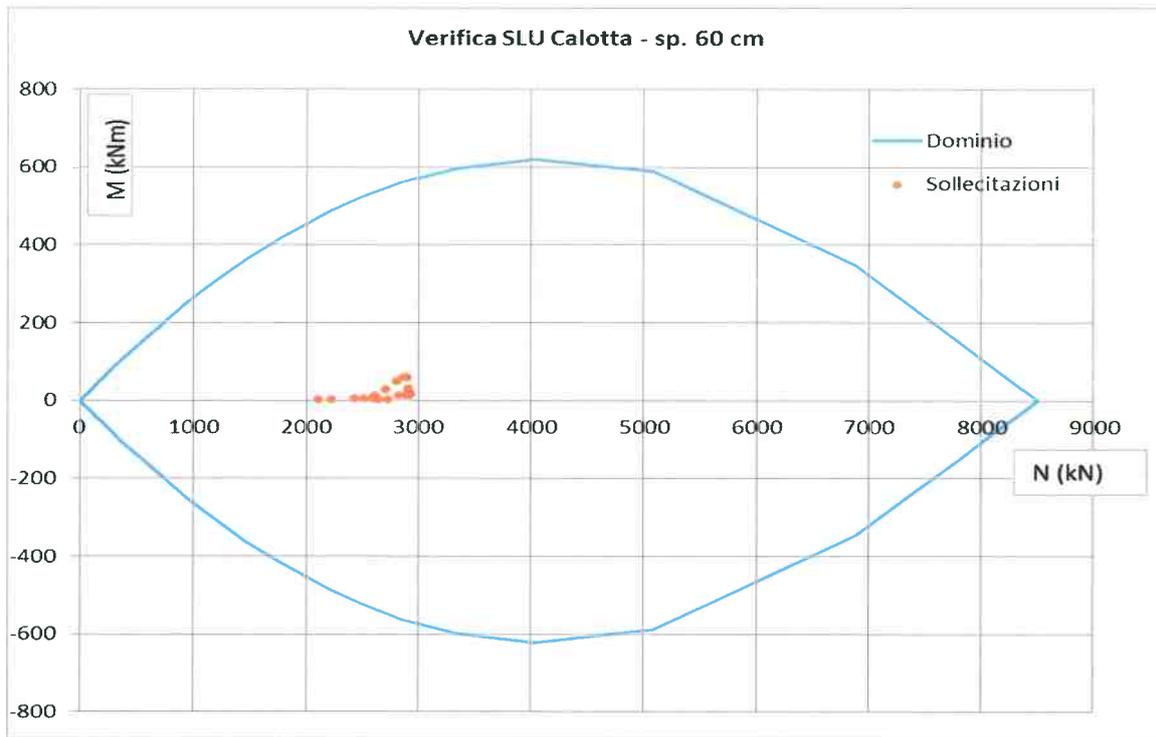


Figura 3 – Dominio SLU per rivestimento di calotta

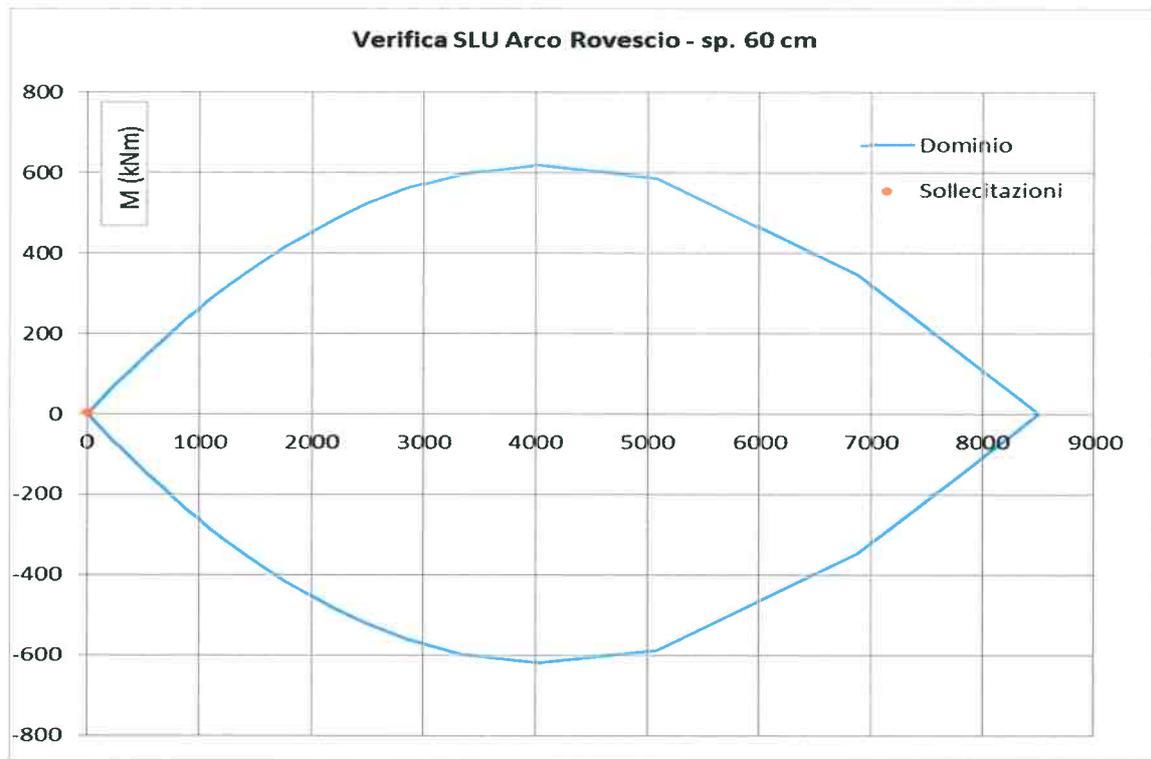
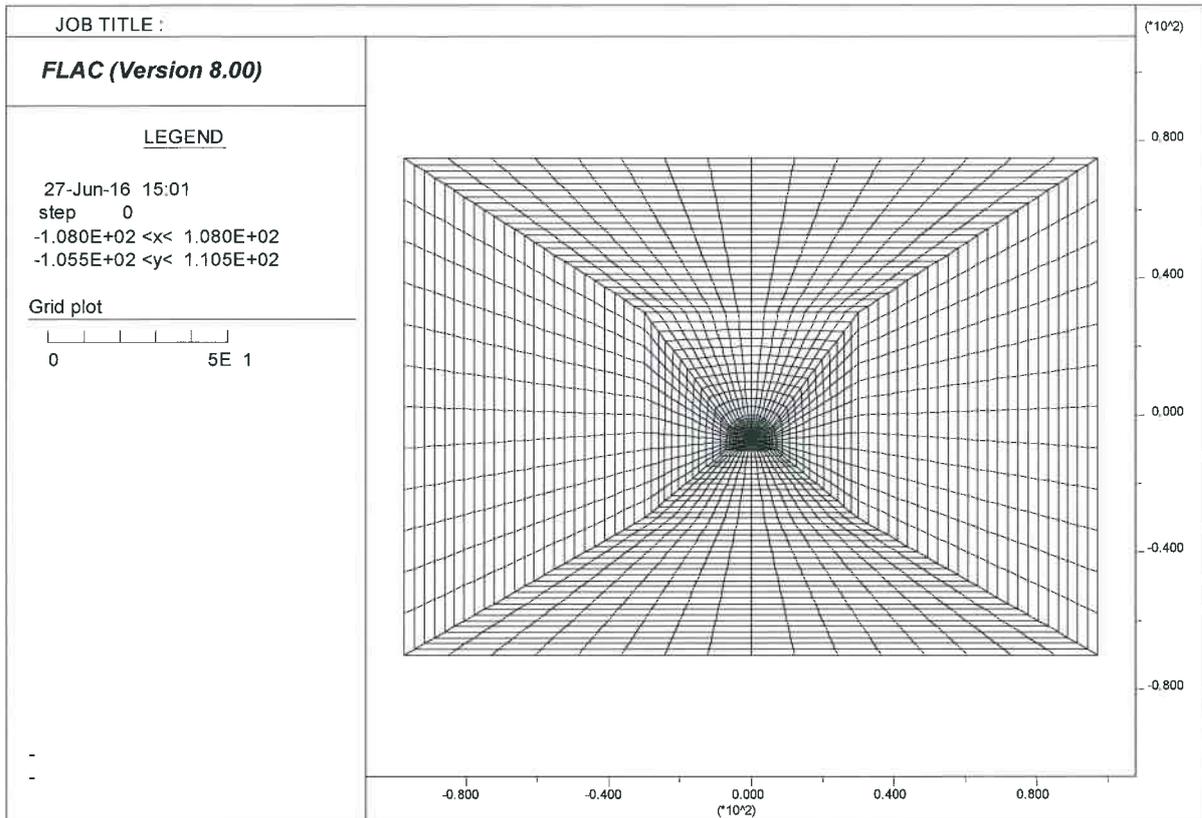
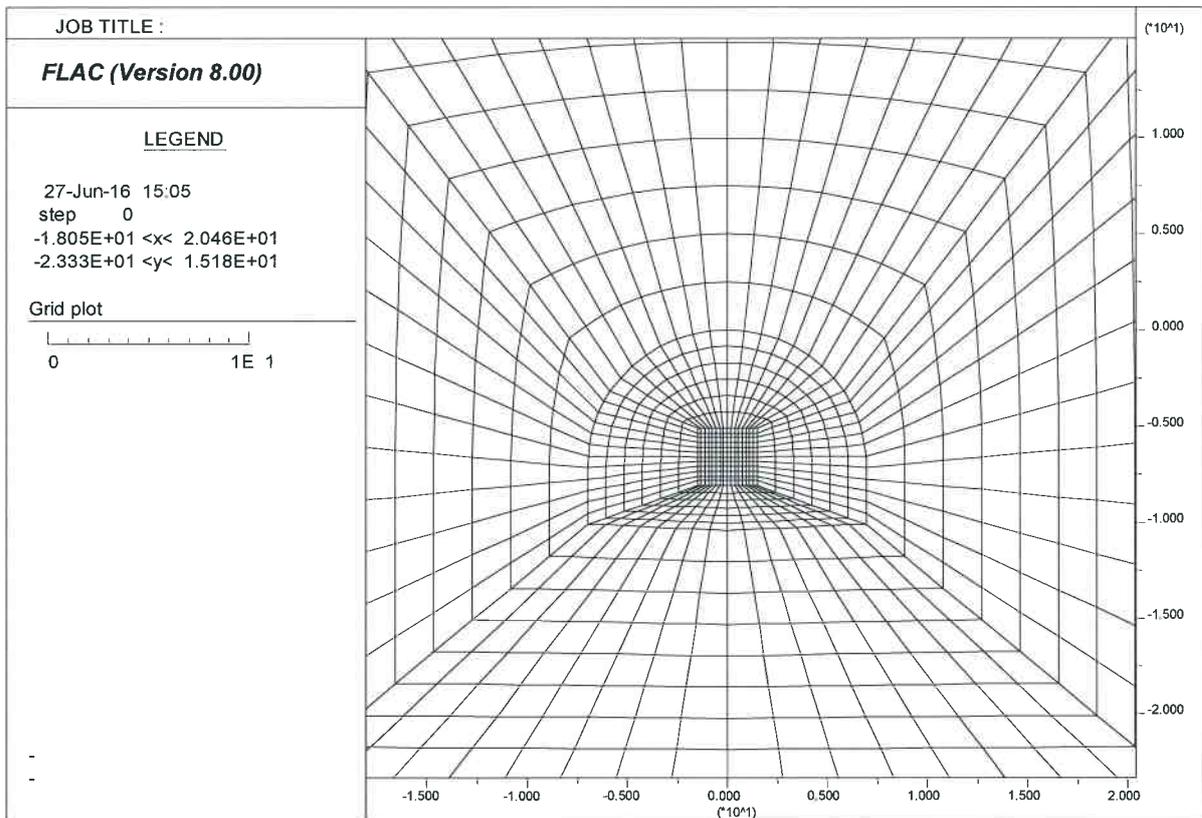


Figura 4 – Dominio SLU per rivestimento di arco rovescio

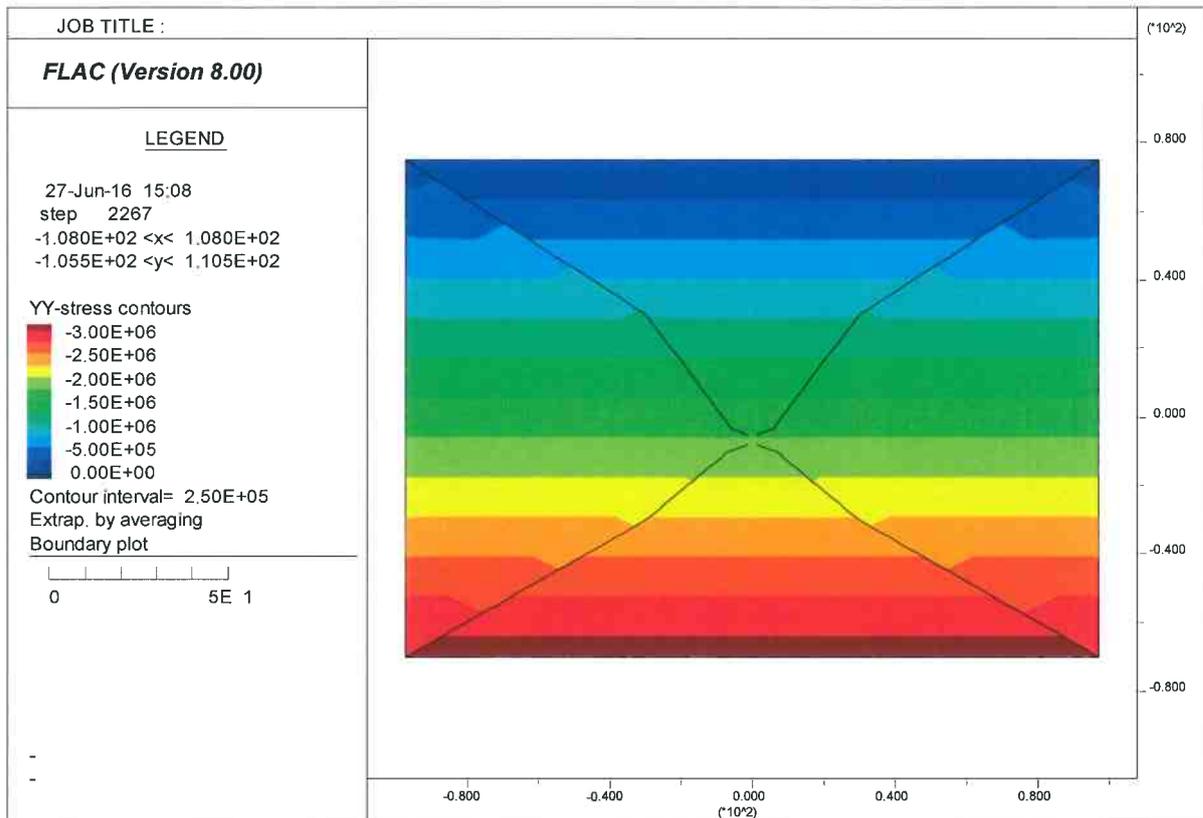
## ALLEGATI



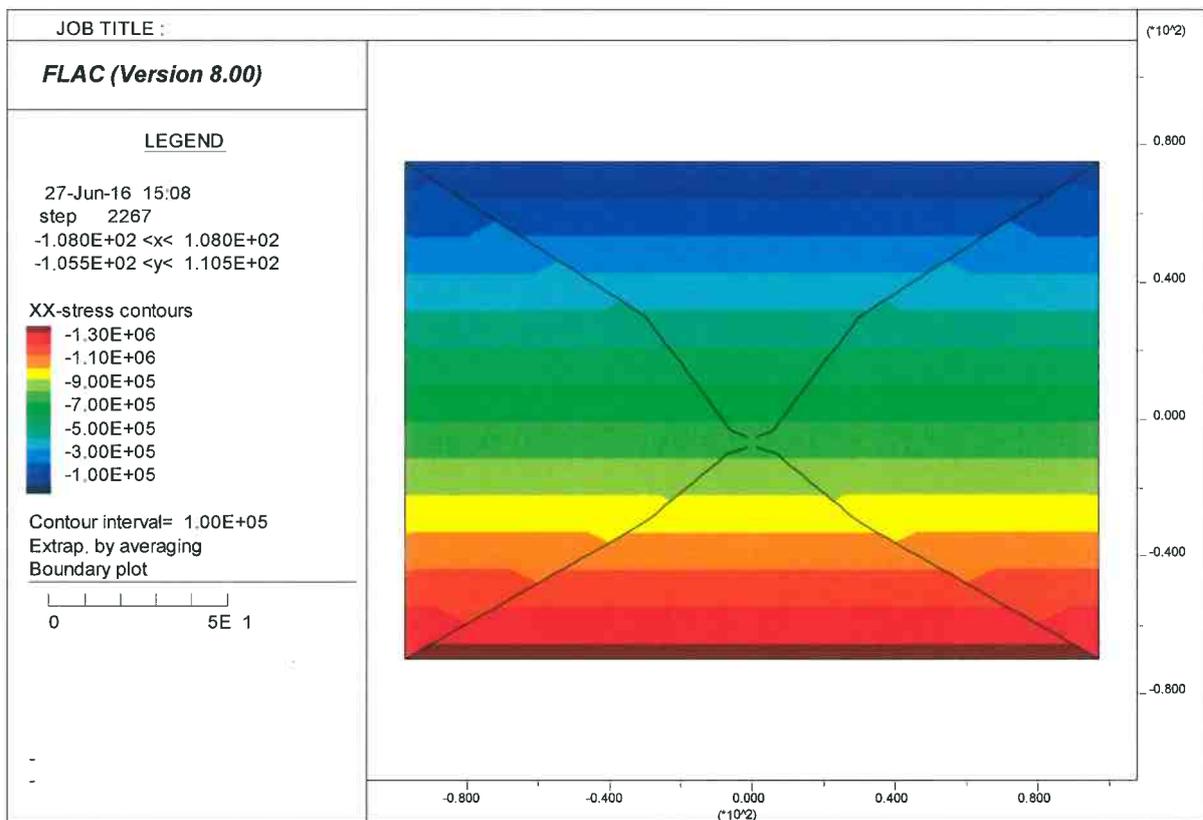
**A - 1 – mesh di calcolo**



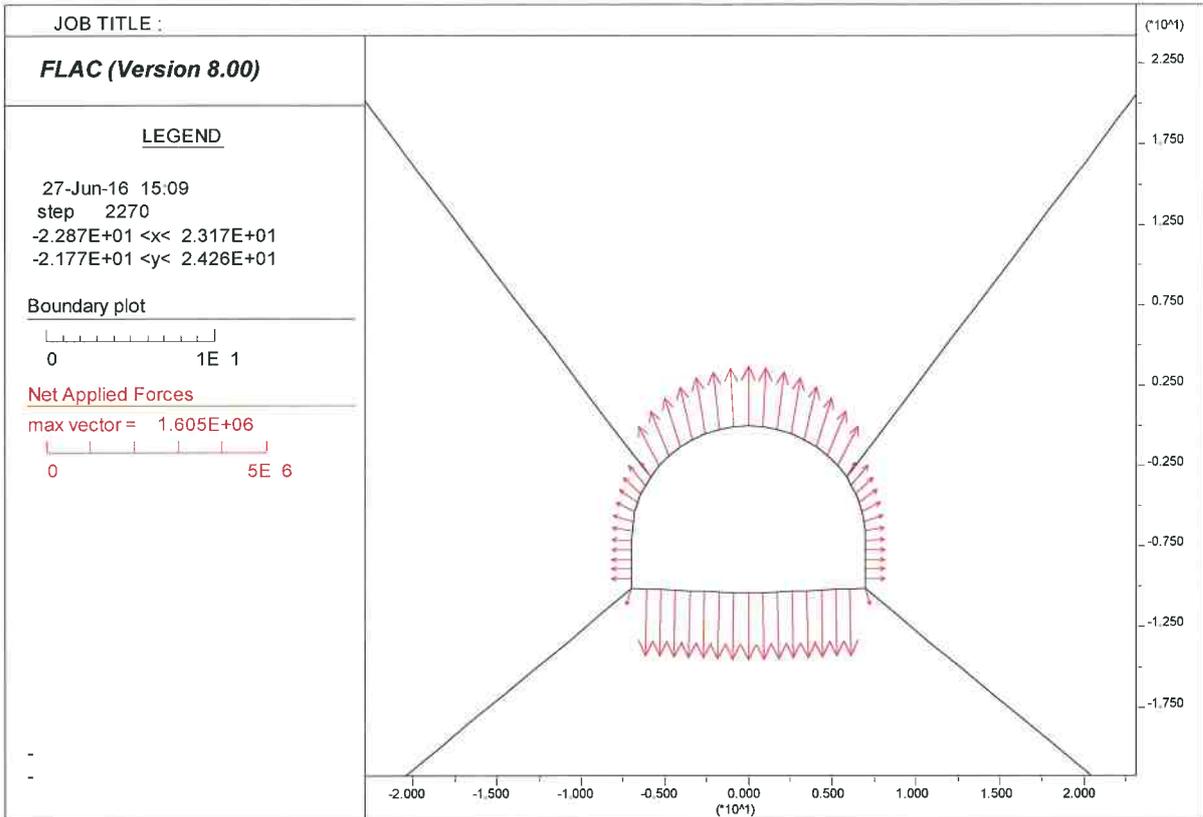
**A - 2 – dettaglio mesh di calcolo**



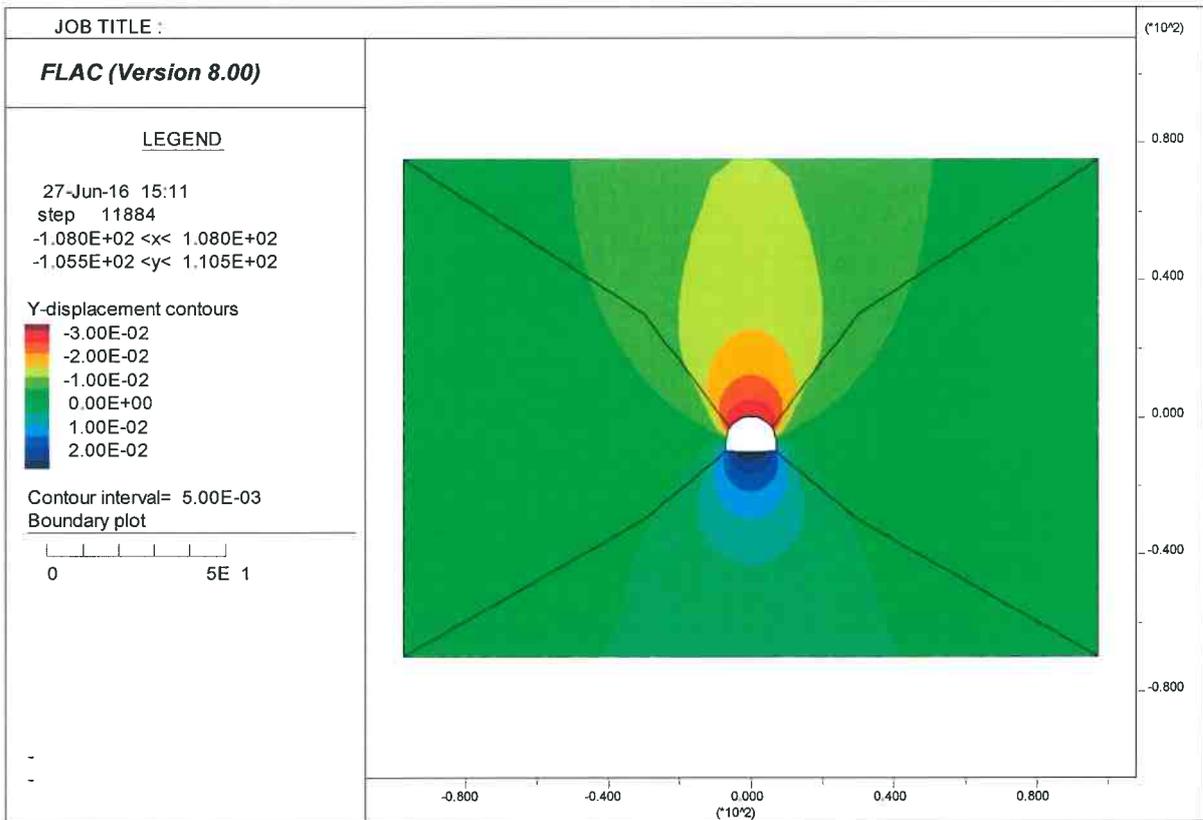
**A - 3 – fase 0 – tensioni verticali**



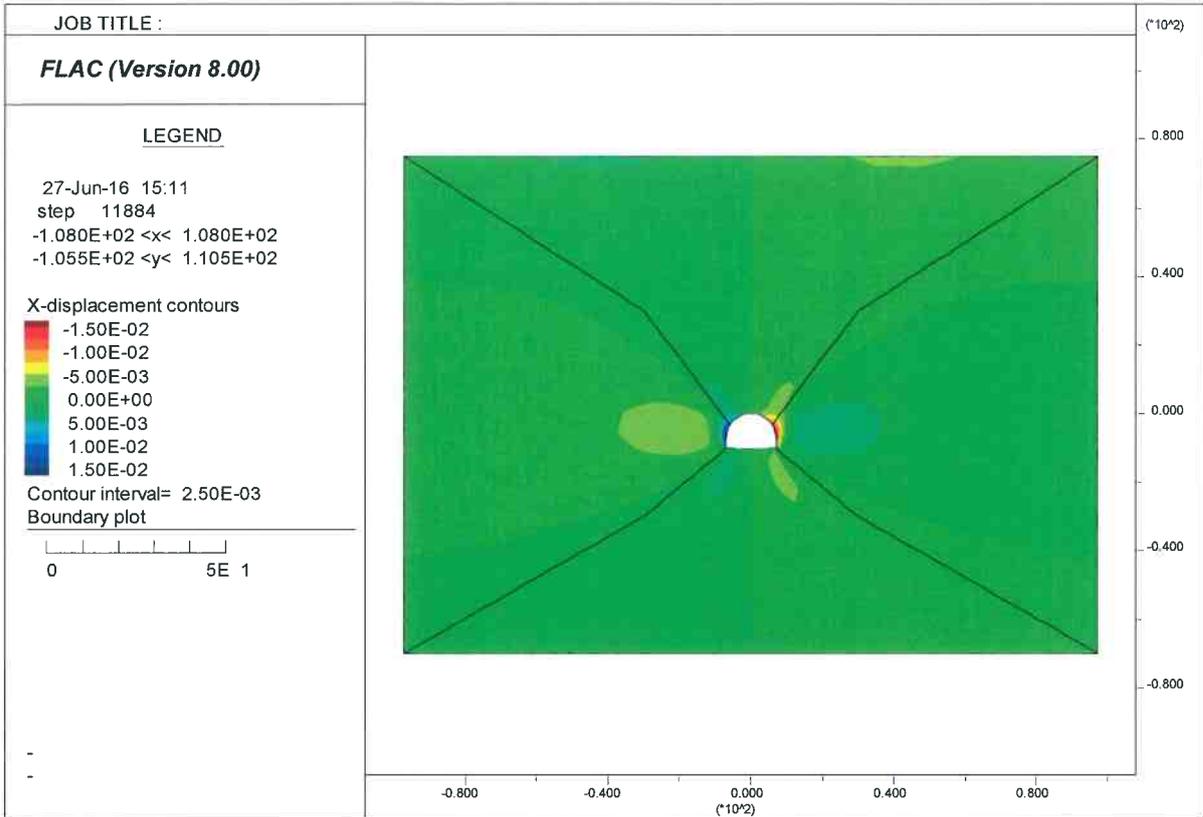
**A - 4 – fase 0 – tensioni orizzontali**



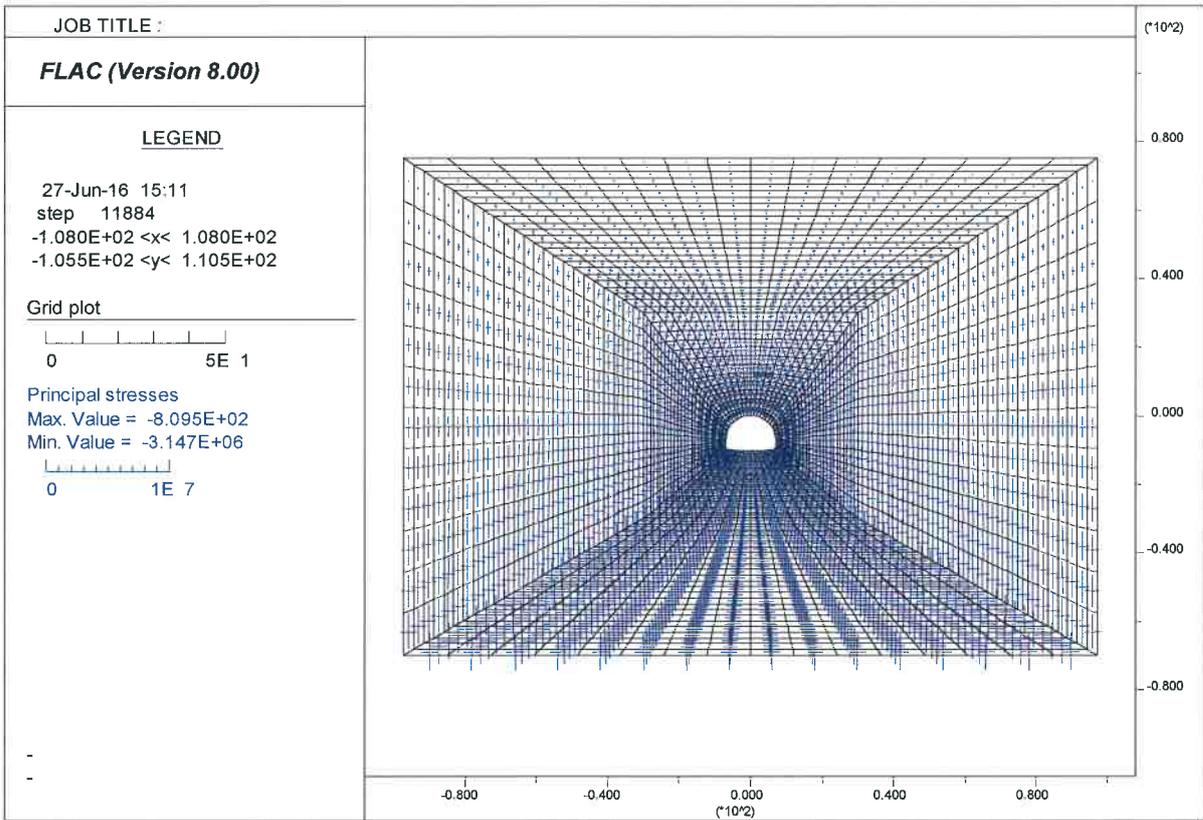
A - 5 – fase 1: forze fittizie di scavo al 100%



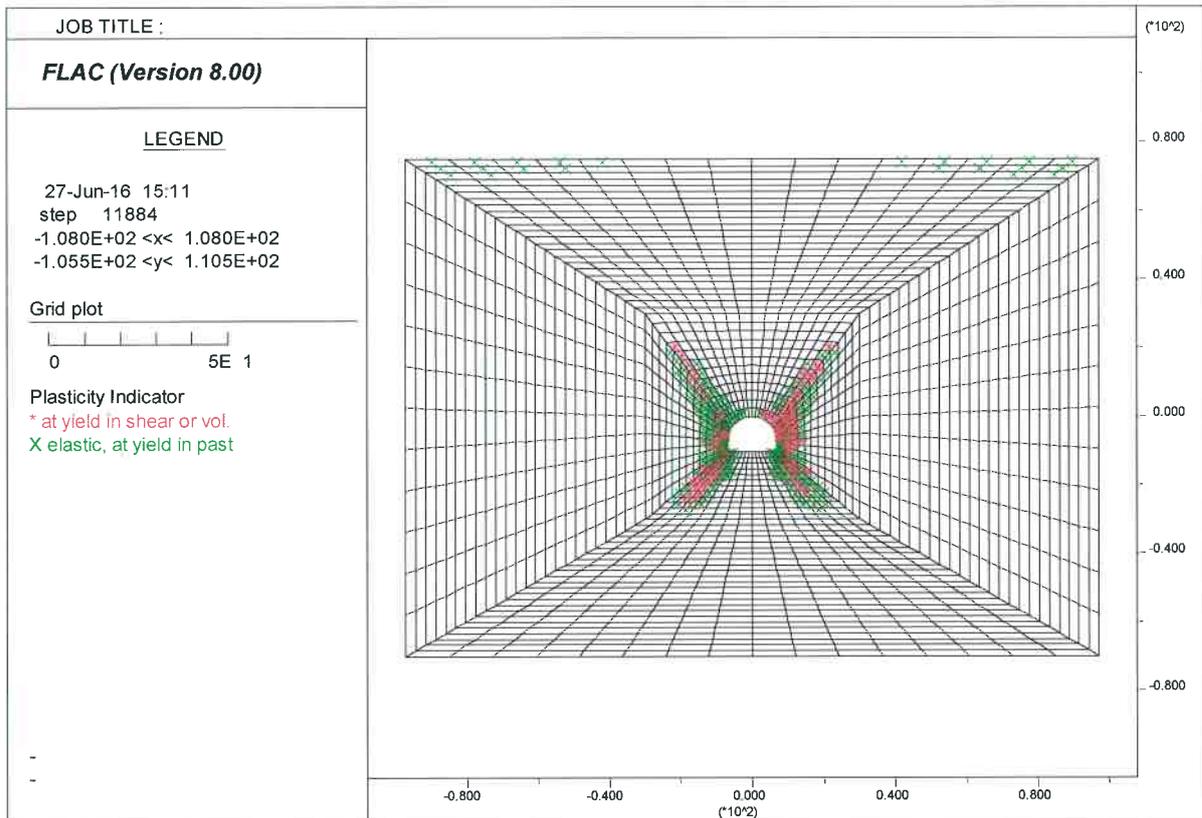
A - 6 – fase 2 – spostamenti verticali



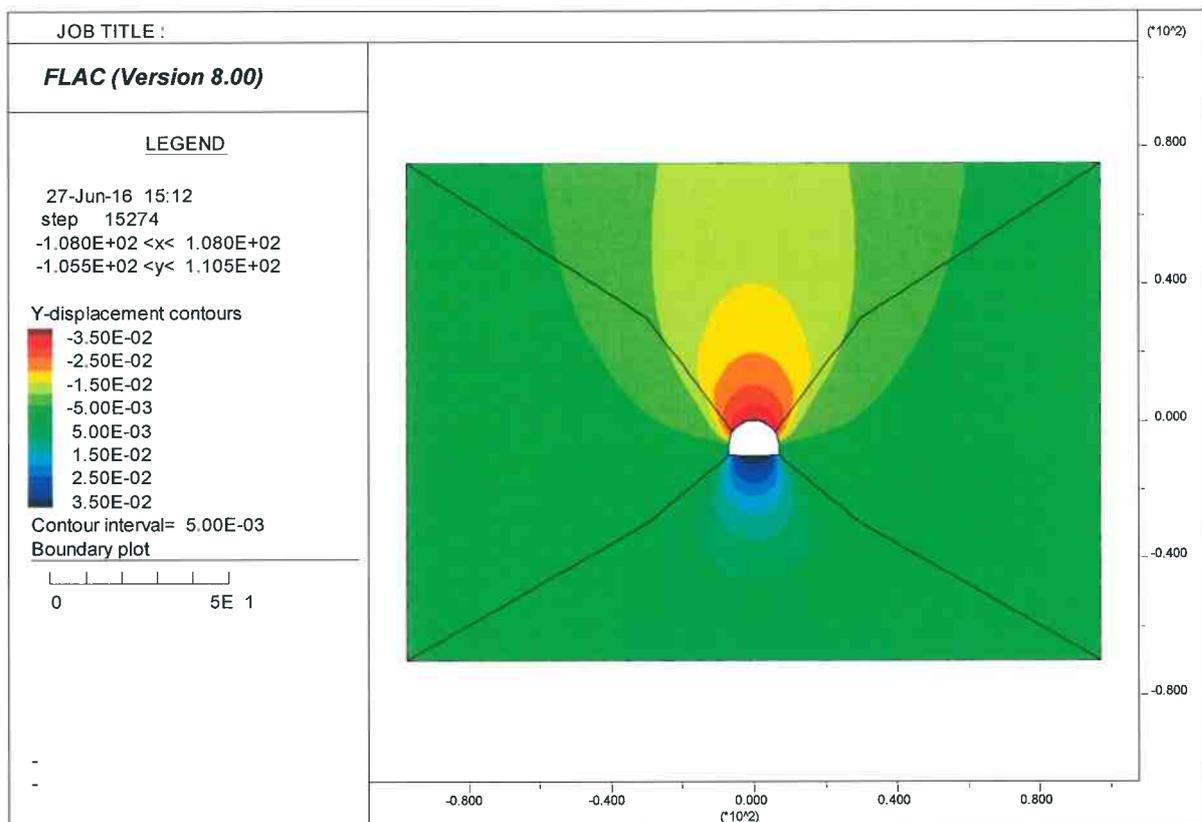
A - 7 - fase 2 – spostamenti orizzontali



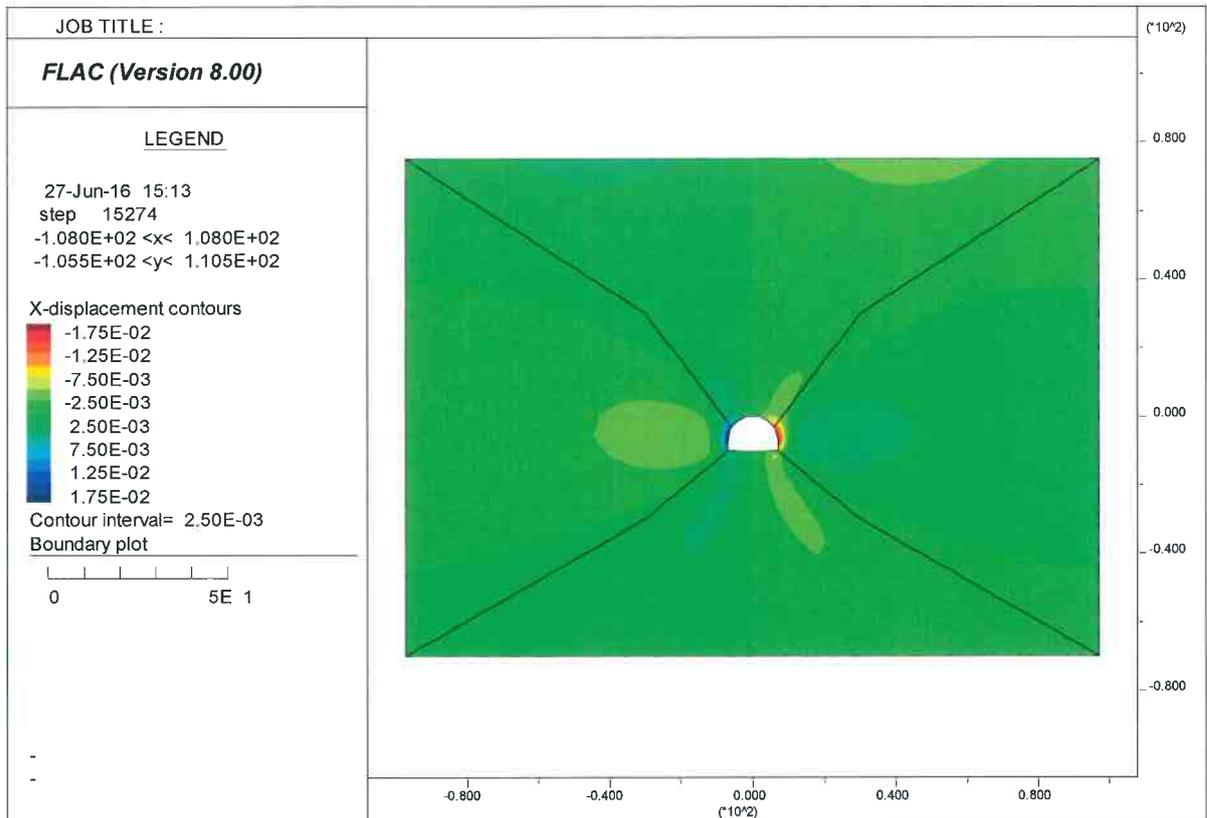
A - 8 - fase 2 – tensioni principali



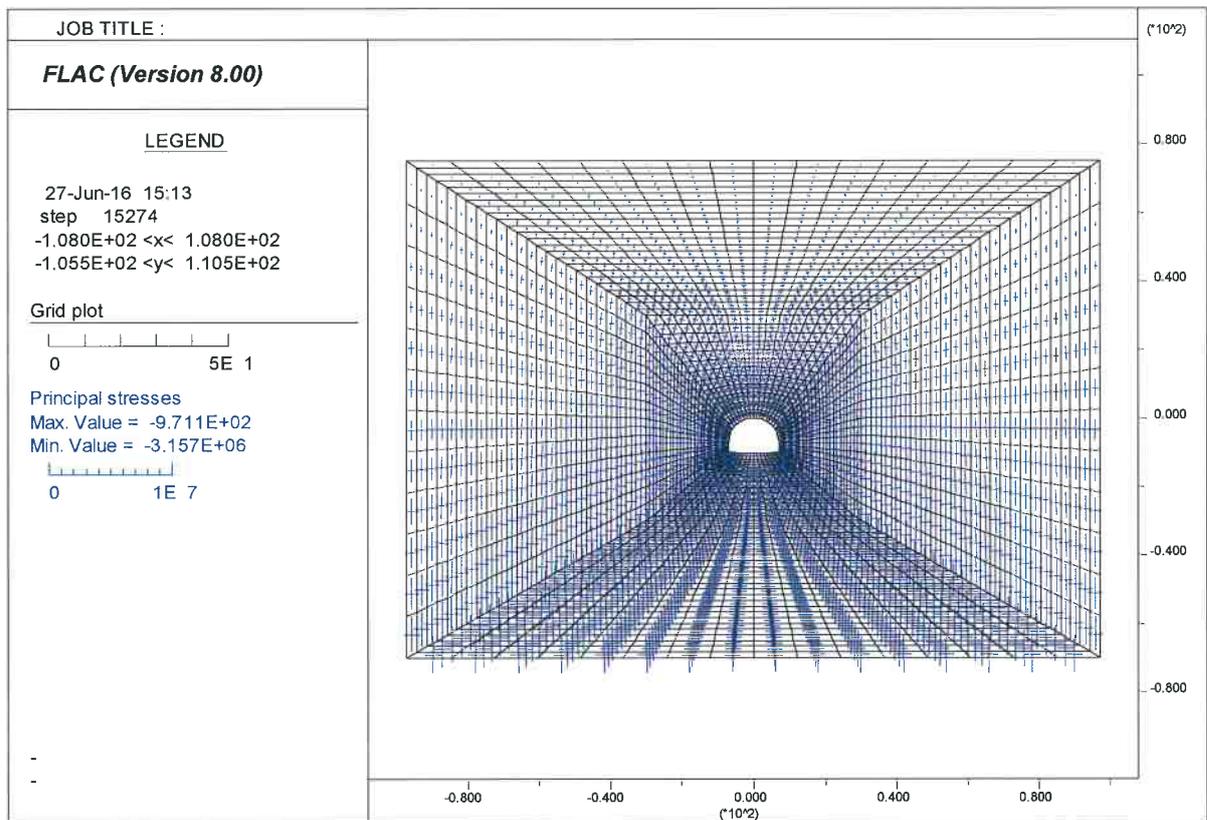
**A - 9 - fase 2 – plasticizzazioni**



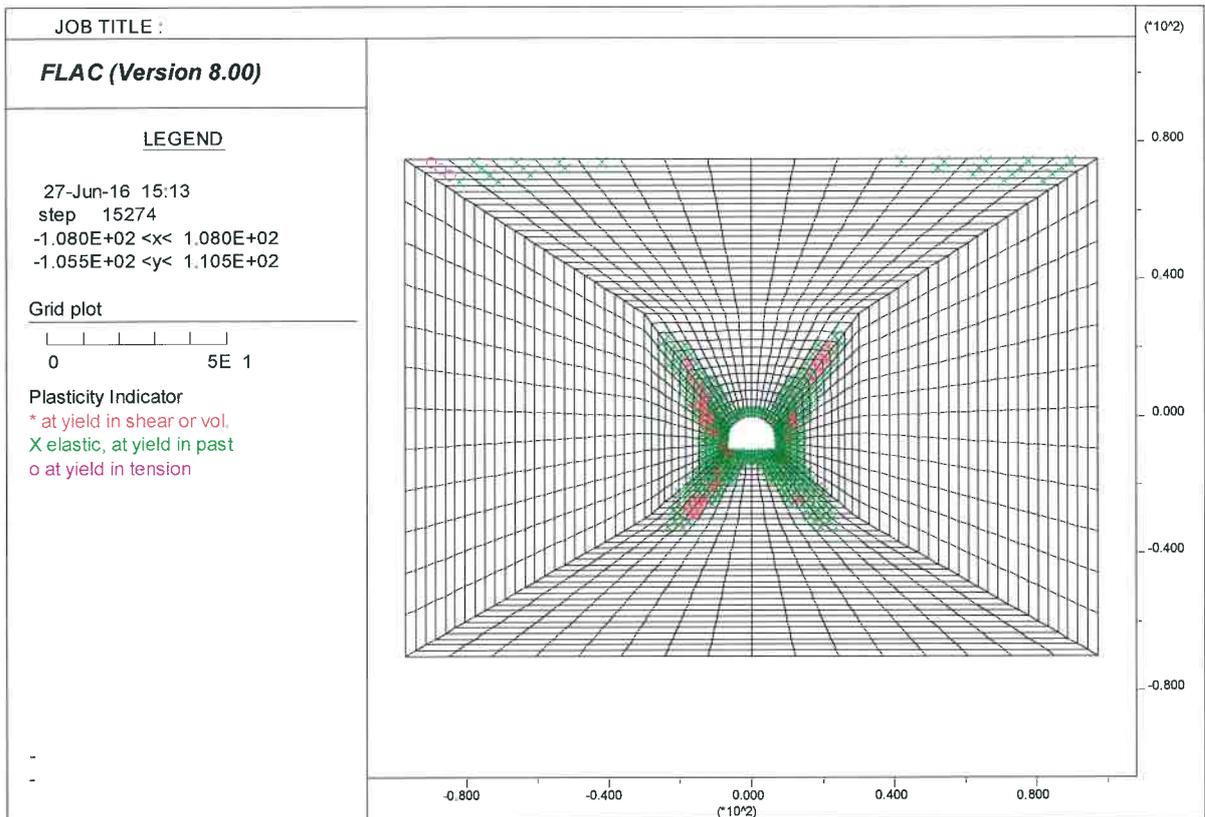
**A - 10 – fase 3 – spostamenti verticali**



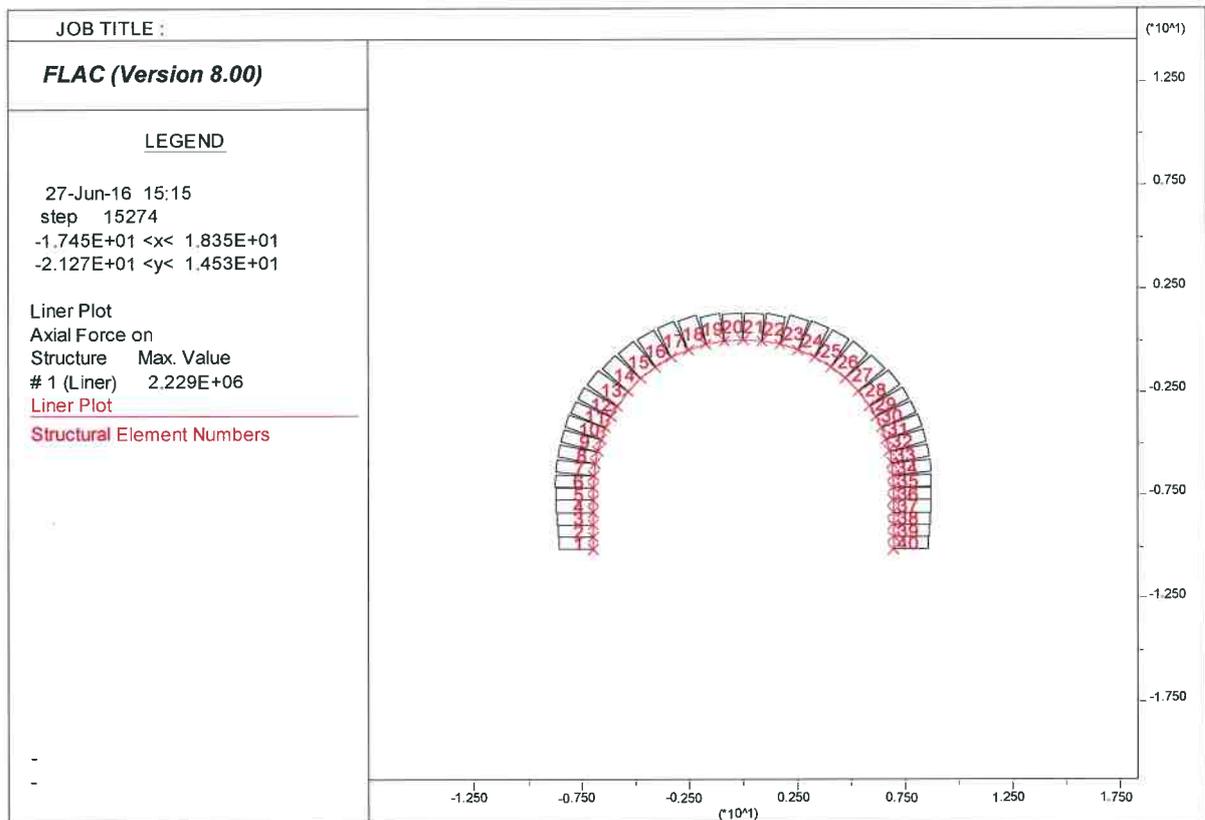
A - 11 – fase 3 – spostamenti orizzontali



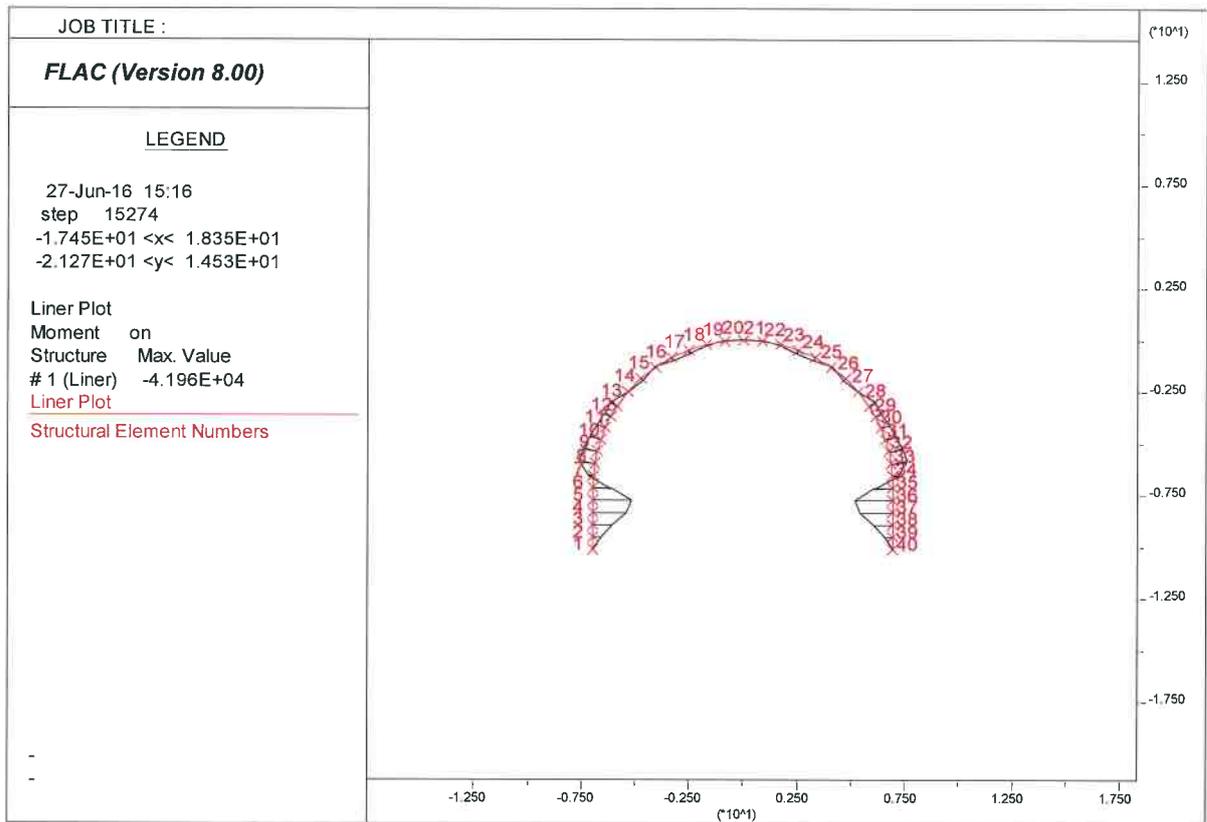
A - 12 – fase 3 – tensioni principali



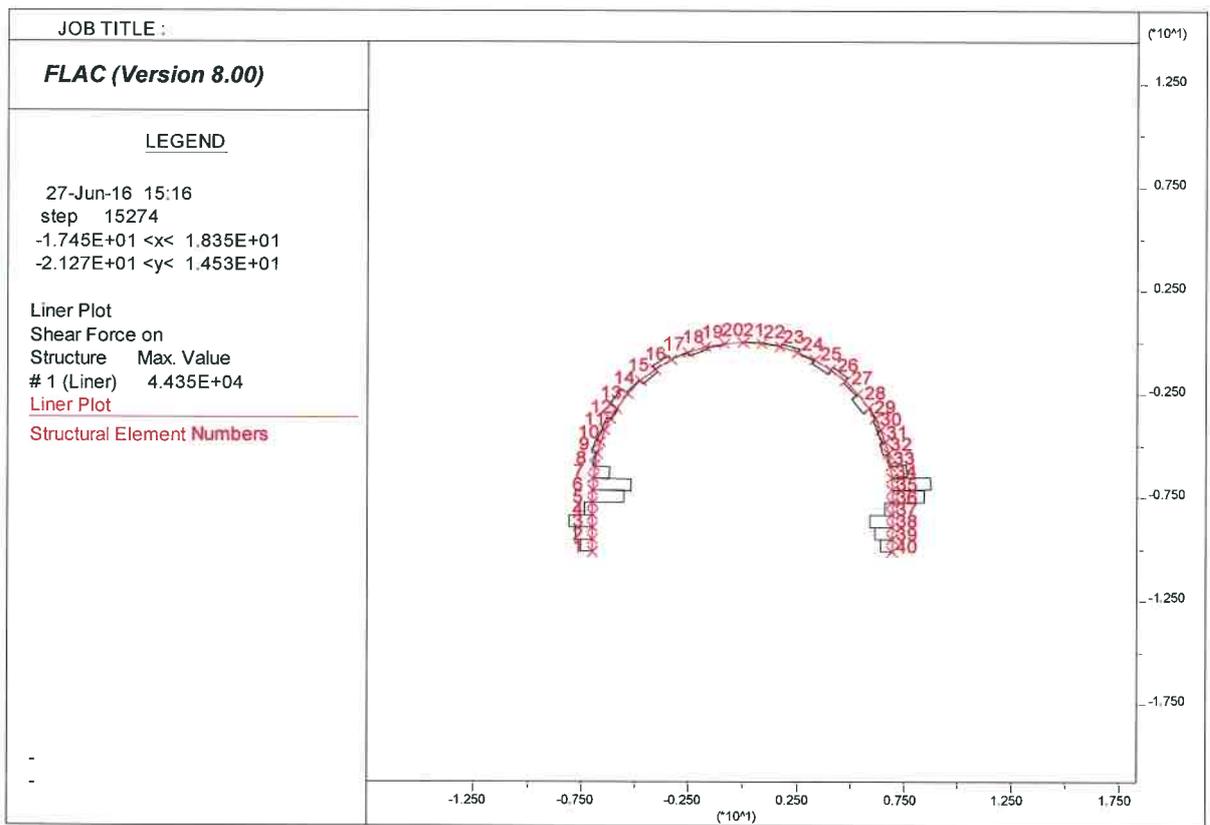
A - 13 – fase 3 – plasticizzazioni



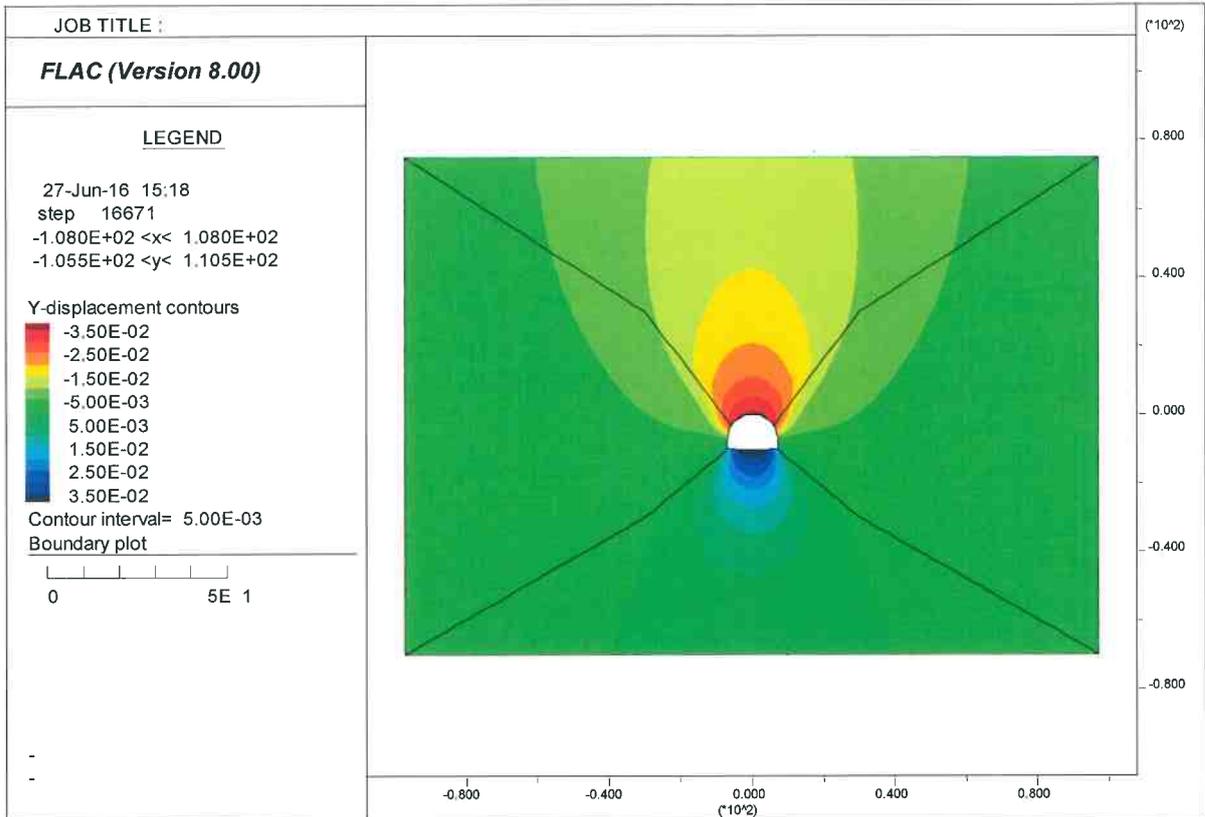
A - 14 – fase 3 – sforzo assiale nel rivestimento di prima fase



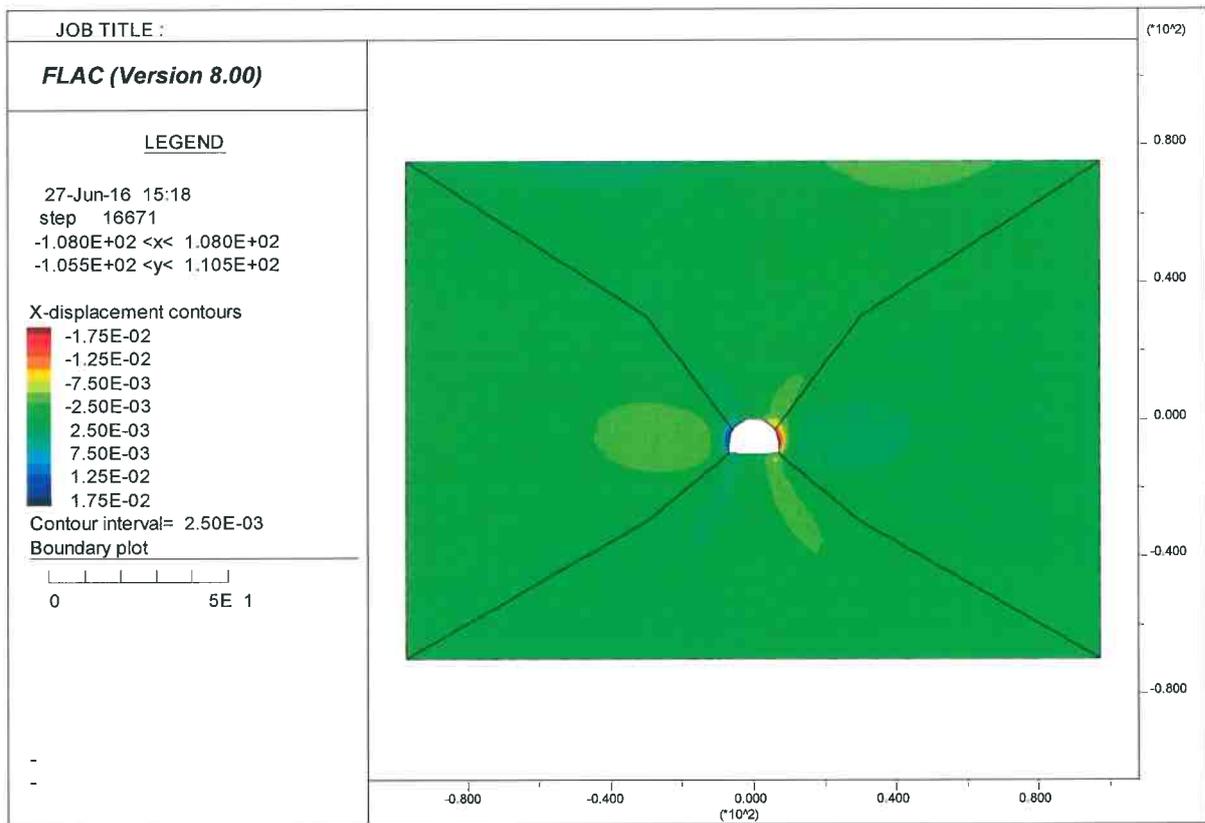
**A - 15 – fase 3 – momento flettente nel rivestimento di prima fase**



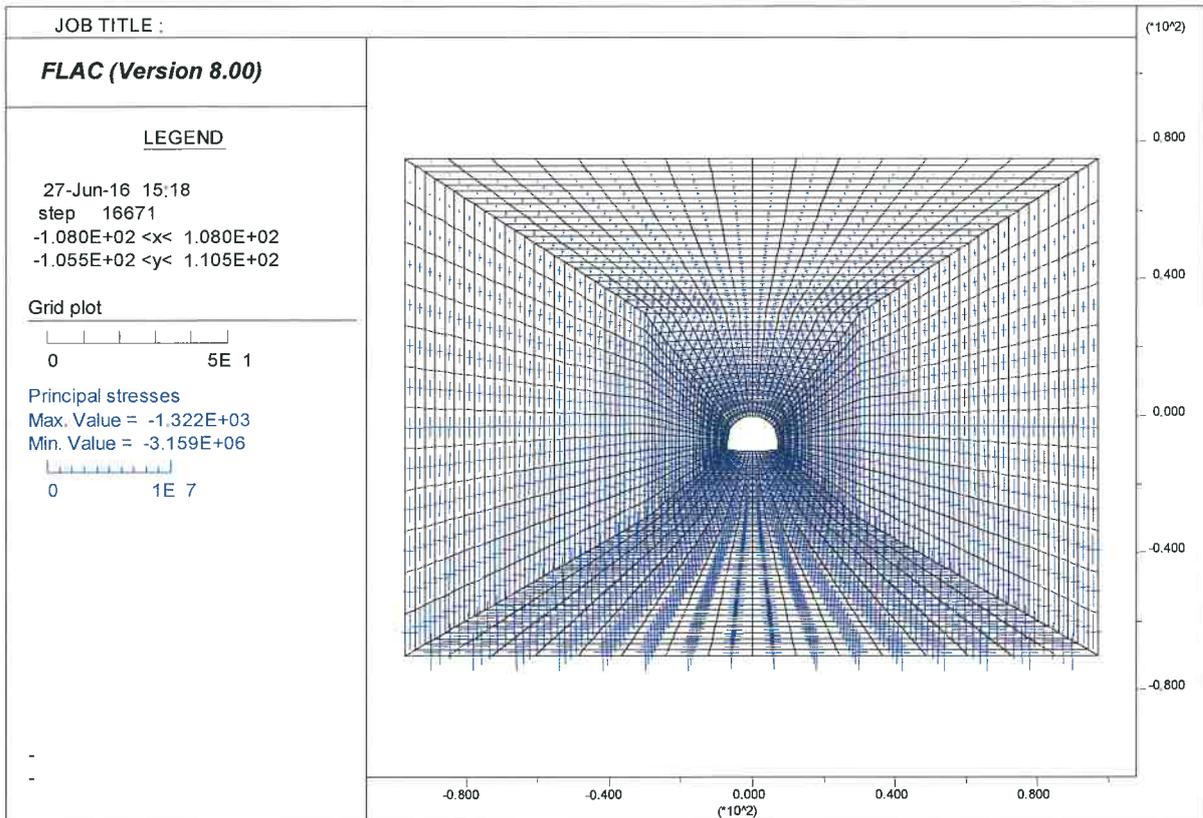
**A - 16 – fase 3 – sforzo di taglio nel rivestimento di prima fase**



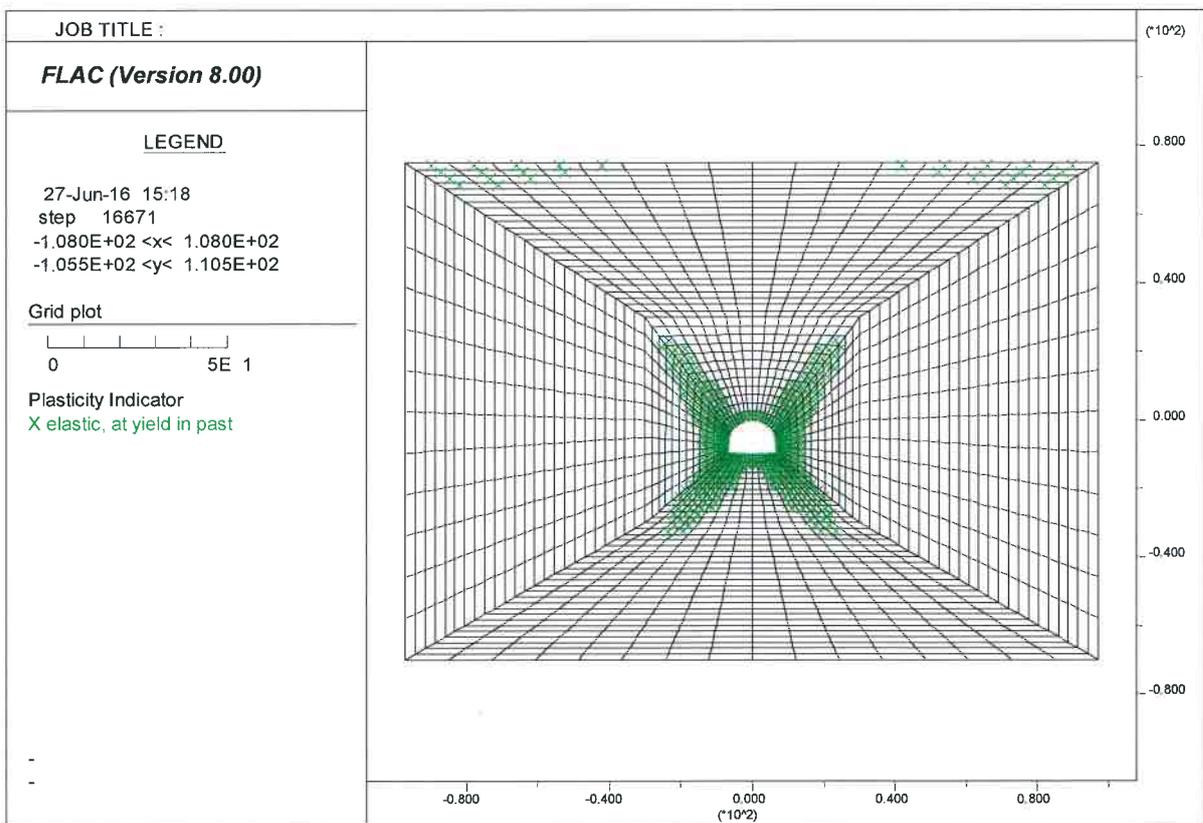
**A - 17 – fase 4 – spostamenti verticali**



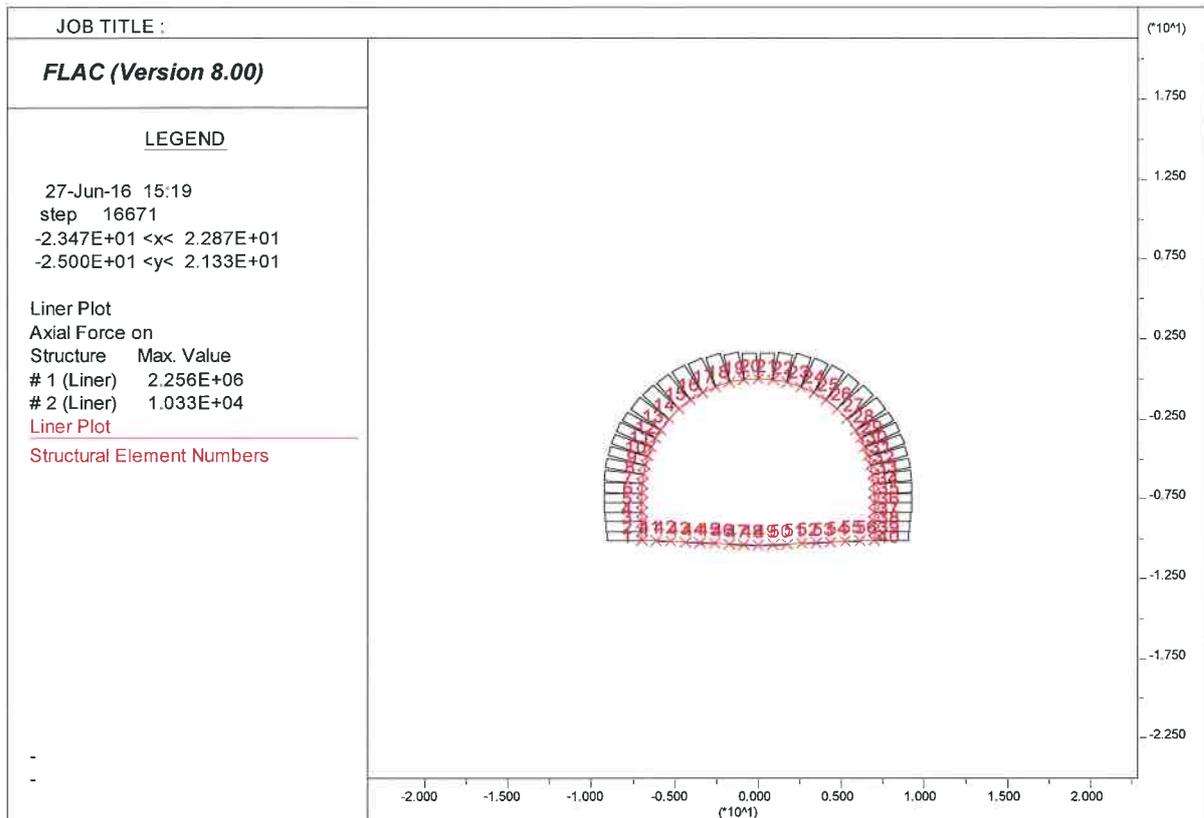
**A - 18 – fase 4 – spostamenti orizzontali**



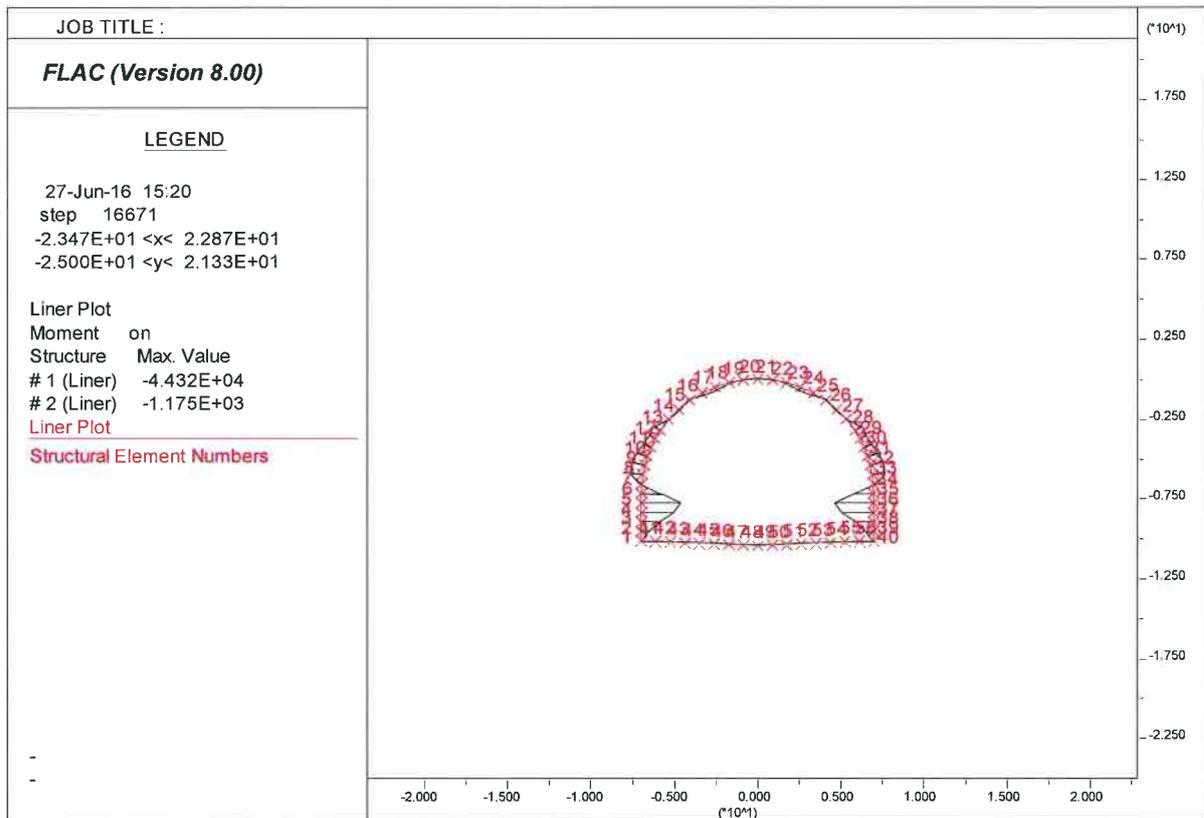
**A - 19 – fase 4 – tensioni principali**



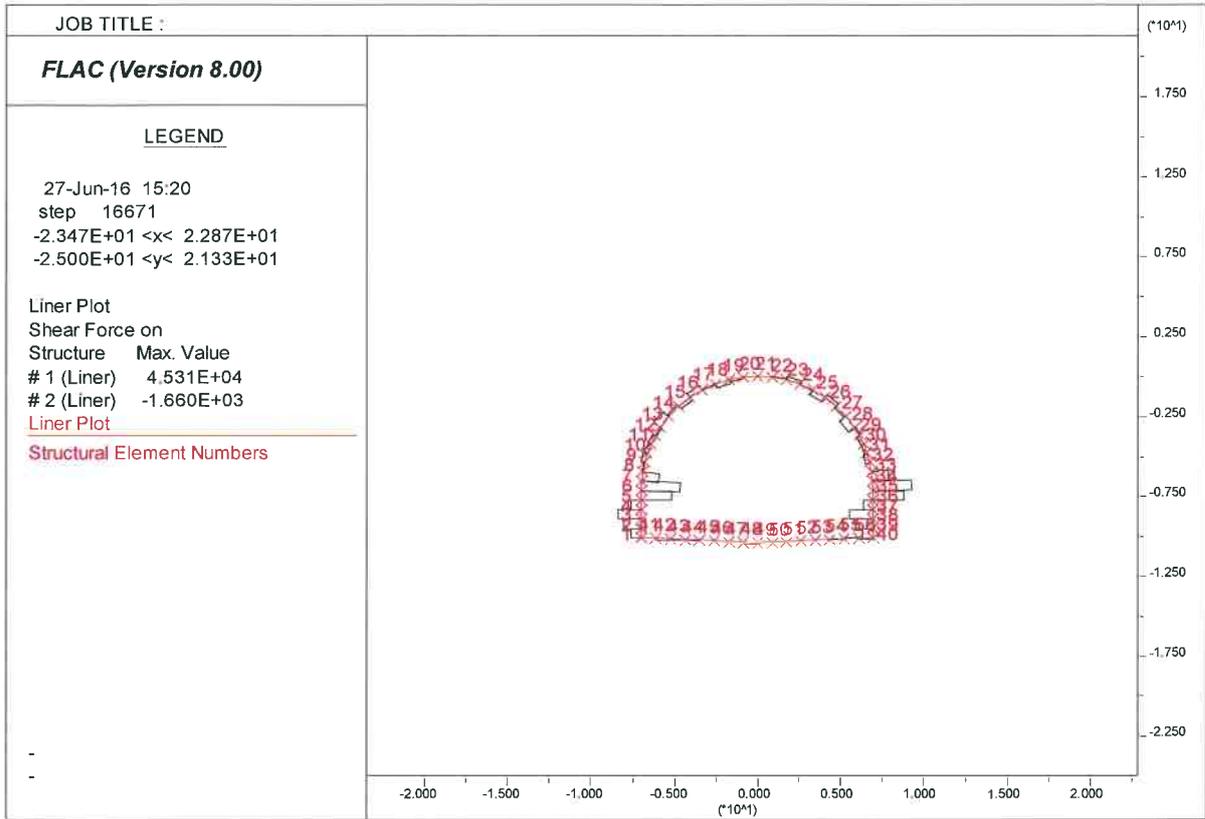
**A - 20 – fase 4 – plasticizzazioni**



**A - 21 – fase 4 – sforzo assiale nel rivestimento definitivo**



**A - 22 – fase 4 – momento flettente nel rivestimento definitivo**



A - 23 – fase 4 – sforzo di taglio nel rivestimento definitivo